

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CLASSIFICAÇÃO DE PEÇAS DE MADEIRA SERRADA DE
DIMENSÕES ESTRUTURAIS DE *Eucalyptus* sp. COM USO DE
ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS**

MARCELO NOGUEIRA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP
Maio – 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CLASSIFICAÇÃO DE PEÇAS DE MADEIRA SERRADA DE
DIMENSÕES ESTRUTURAIS DE *Eucalyptus* sp. COM USO DE
ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS**

MARCELO NOGUEIRA

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Co -Orientador: Prof. Dr. José Tarcisio Lima

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Maio – 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

N778c Nogueira, Marcelo, 1971-
Classificação de peças de madeira serrada de dimensões estruturais de *Eucalyptus* sp com uso de ensaios não-destrutivos/ Marcelo Nogueira. - Botucatu : [s.n.], 2007.
viii, 120 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007

Orientador: Adriano Wagner Ballarin

Co-orientador: José Tarcisio Lima

Inclui bibliografia

1. Ultra-som. 2. Testes não-destrutivos. 3. Madeira - Defeitos. 4. Eucalipto. I. Ballarin, Adriano Wagner. II. Lima, José Tarcisio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CLASSIFICAÇÃO DE PEÇAS DE MADEIRA SERRADA DE
DIMENSÕES ESTRUTURAIS DE *Eucalyptus* sp. COM USO DE ENSAIOS
NÃO-DESTRUTIVOS"

ALUNO: MARCELO NOGUEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ TARCISIO LIMA


Aprovado pela Comissão Examinadora



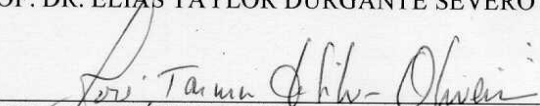
PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN



PROF. DR. HERNANDO ALFONSO LARA PALMA



PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO



PROF. DR. JOSÉ TARCISIO DA S. OLIVEIRA



DR. ANDRÉ BARTHOLOMEU

Data da Realização: 25 de maio de 2007.

MENÇÃO ESPECIAL

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin, por ter depositado sua confiança e acreditado em meu potencial para a conclusão deste programa experimental, pela dedicação, estima e apoio, em todas as fases desse projeto e, sem os quais, eu não teria obtido êxito. Mais do que um orientador, um grande amigo. Tudo que alcancei e aprendi até hoje foi fruto do conhecimento e do rigor científico com que conduz seus trabalhos. Minha eterna gratidão e carinho.

Marcelo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Lina e Avanir, por me incentivarem a seguir em frente, mesmo nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos Márcio (que não está mais entre a gente) e Mônica, por me apoiarem em mais essa vitória da minha vida.

Aos meus amigos Silmara Sayuri Nomura e Valney Cassimiro da Silva, que sempre me ajudaram e incentivaram nesses anos de estudo. Aos meus amigos Marcos Fábio e Leandro Dalphino por me receberem sempre de braços abertos na sua casa em São Paulo todas as vezes que precisei de um pouso.

Aos professores Dr. Elias Taylor Durgante Severo e Dr. Hernando Alfonso Lara Palma por participarem de minha banca de qualificação, por direcionarem a execução desta pesquisa e por me ajudarem a enriquecer esse trabalho, através de suas largas experiências.

Aos professores do IBB/Unesp, Dr. Carlos Roberto Padovani e MSc. Luciano Barbosa que sempre me atenderam com presteza, pelas sugestões no delineamento experimental e na condução da análise estatística.

Ao funcionário do STI da FCA/Unesp, Dr. Jayme Laperuta Filho, pela dedicação na condução da simulação elaborada com aplicativo computacional.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da UFLA, em especial ao Prof. Dr. José Tarcísio Lima, por viabilizar o contato com a empresa que forneceu o material da pesquisa, por ceder a infra-estrutura dos laboratórios, programar toda a logística empregada na seleção, corte e transporte da madeira e principalmente pela co-orientação, estreitando os laços de amizade.

À Empresa Plantar Reflorestamentos S.A., pela concessão das toras de *Eucalyptus sp.*, utilizadas na execução do programa experimental.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrônômica da UFS e do Departamento de Engenharia Florestal da UFES, pelo apoio em todas as fases do projeto e pela amizade que cultivamos nestes anos de convivência.

Ao Aílton de Lima Lucas e à Engenheira Florestal Maria Silvia Chiaradia Gabriel pela colaboração na execução dos ensaios, confecção dos corpos-de-prova e pela amizade que firmamos nesse tempo de convivência.

Aos funcionários da marcenaria da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, pela disponibilidade e esmero na confecção dos corpos-de-prova.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural e do Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, pela disponibilidade em ajudar sempre.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – por ter acreditado na concepção deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	VII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4.1 Métodos de classificação da madeira	9
4.2 Classificação visual da madeira	11
4.2.1 Premissas e componentes de uma classificação visual.....	11
4.2.2 Defeitos	14
4.2.2.1 Nós.....	14
4.2.2.2 Inclinação da grã.....	15
4.2.2.3 Medula.....	15
4.2.2.4 Empenamentos	16
4.2.2.5 Rachaduras	16
4.2.2.6 Tensões de crescimento.....	16
4.2.2.7 Diferenciações no lenho	17
4.2.2.7 a) Cerne e alburno	17
4.2.2.7 b) Madeira juvenil e adulta.....	19
4.3 Classificação mecânica	20
4.4 Classificação de madeiras no Brasil.....	23
4.4.1 Classificação visual	23
4.4.2 Classificação mecânica	30

	Página
4.5 Métodos de avaliação não-destrutiva da madeira	36
4.5.1 Ondas de tensão.....	37
4.5.2 Ultra-som.....	39
4.5.3 Vibração transversal	43
4.6 Compilação da revisão bibliográfica realizada	45
5 MATERIAL E MÉTODOS	47
5.1 Material	47
5.2 Métodos.....	49
5.2.1 Classificação visual das vigas	49
5.2.2 Caracterização mecânica das vigas	51
5.2.2.1 Método das ondas de tensão	51
5.2.2.2 Método do ultra-som	52
5.2.2.3 Método da vibração transversal.....	54
5.2.2.4 Método da flexão estática.....	54
5.2.3 Ensaio nos corpos-de-prova.....	59
5.3 Análise dos resultados.....	60
5.3.1 Análise 1 - análise de variância para quantificação dos efeitos dos fatores.....	61
5.3.2 Análise 2 – análise exploratória dos dados.....	61
5.3.3 Análise 3 – associações entre as grandezas mensuradas nas vigas.....	61
5.3.4 Análise 4 – associações entre as grandezas mensuradas e a classe visual das vigas	62
5.3.5 Análise 5 – simulações com o universo amostral das vigas.....	62
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
6.1 Dados gerais das árvores	65
6.2 Vigas no estado verde	66
6.2.1 Classificação visual dos defeitos.....	66
6.2.2 Ensaio não-destrutivo	67

	Página
6.3 Vigas na umidade de equilíbrio ao ar.....	68
6.3.1 Classificação visual dos defeitos.....	68
6.3.2 Ensaios não-destrutivos.....	70
6.3.3 Ensaios destrutivos.....	72
6.4 Efeitos dos fatores sobre as variáveis analisadas	73
6.4.1 Madeira verde.....	73
6.4.2 Madeira em equilíbrio ao ar	77
6.5 Análise exploratória dos dados	81
6.6 Associações entre as grandezas mensuradas – Parte 1	85
6.7 Associações entre as grandezas mensuradas – Parte 2	96
6.8 Simulações com o universo amostral das vigas	99
6.8.1 Avaliação da homogeneidade dos lotes simulados, com base nas grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos	100
6.8.2 Avaliação dos erros de classificação das vigas em classes de resistência com base nas grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos	105
7 CONCLUSÕES	109
8 REFERÊNCIAS	112
ANEXOS	121

LISTA DE QUADROS

		Página
1	Normas norte-americanas para a classificação estrutural da madeira	10
2	Sumário das especificações das classes de qualidade – NBR 14806 (2002).....	29
3	Classes de resistência para seis espécies de dicotiledôneas: Andiroba (<i>Carapa guianensis</i>), Copaíba (<i>Copaífera multijuga</i>), Mururé (<i>Clarisia racemosa</i>), Pau-Jacaré (<i>Piptadenia gonocantha</i>), Tachi Preto Folha Grande (<i>Scledrolobium</i> sp.) e Tauarí (<i>Couratari stellata</i>).	30
4	Classes de resistência das dicotiledôneas na condição padrão de referência a 12% de umidade.	31
5	Classes de rigidez de peças estruturais da madeira de Eucalipto citriodora (<i>Corymbia citriodora</i>) utilizando a velocidade de propagação da onda de ultra-som na condição saturada e em equilíbrio ao ar.	35
6	Faixas de classificação por ultra-som da madeira de dicotiledônea.	36
7	Dados médios de circunferência à altura do peito, diâmetro à altura do peito e número de vigas por árvore dos clones de <i>Eucalyptus</i> sp.....	65
8	Número de peças de madeira serrada dos clones de <i>Eucalyptus</i> sp. na condição verde, por classe de qualidade.	66
9	Valores médios da densidade, frequência de vibração, peso e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de vibração transversal, tempo de propagação, velocidade e constante dinâmica para o ensaio de ultra-som, tempo de propagação, velocidade e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de ondas de tensão dos clones de <i>Eucalyptus</i> avaliados na condição verde.	68
10	Número de peças de madeira serrada dos clones de <i>Eucalyptus</i> sp. na condição de equilíbrio ao ar, por classe de qualidade.....	69
11	Valores médios da densidade, frequência de vibração, peso e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de vibração transversal, tempo de propagação, velocidade e constante dinâmica para o ensaio de ultra-som, tempo de propagação, velocidade e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de ondas de tensão dos clones de <i>Eucalyptus</i> avaliados na unidade de equilíbrio ao ar.....	70
12	Valores médios do teor de umidade, módulo de elasticidade á flexão, carga de ruptura e resistência à flexão e resistência à compressão paralela dos clones de <i>Eucalyptus</i> avaliados na umidade de equilíbrio ao ar.....	72

	Página
13	Resultados obtidos na análise de variância com as variáveis analisadas sob a condição verde 74
14	Valores médios de densidade, velocidade de propagação da onda ultrassonora, constante dinâmica, velocidade da onda de tensão, módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ensaio de ondas de tensão, frequência e módulo dinâmico obtido pelo ensaio de vibração transversal e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito do clone na madeira de <i>Eucalyptus</i> sp. na condição verde. 75
15	Resultados obtidos na análise de variância com as grandezas analisadas sob a condição de equilíbrio ao ar. 77
16	Valores médios de densidade, velocidade de propagação da onda ultrassonora, constante dinâmica, velocidade da onda de tensão, módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ensaio de ondas de tensão, frequência e módulo dinâmico obtido pelo ensaio de vibração transversal e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito do clone na madeira de <i>Eucalyptus</i> na condição de equilíbrio ao ar 79
17	Valores médios do módulo de elasticidade à flexão, resistência à flexão e resistência à compressão paralela às fibras e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito do clone da madeira de <i>Eucalyptus</i> na condição de equilíbrio ao ar. 80
18	Resultados das correlações de Pearson entre as variáveis das árvores de <i>Eucalyptus</i> na condição verde 85
19	Resultados das correlações de Pearson entre as variáveis das árvores de <i>Eucalyptus</i> na condição de equilíbrio ao ar 86
20	Faixas de variação da velocidade da onda (v_{us}) obtidas através de ensaios de ultra-som (vigas na condição verde) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral..... 90
21	Faixas de variação da velocidade da onda de tensão (v_{ot}) obtidas através de ensaios de ondas de tensão (vigas na condição verde) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral. 90
22	Faixas de variação da frequência de vibração (f) obtidas através de ensaios de vibração transversal (vigas na condição verde) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral 91

	Página	
23	Faixas de variação da velocidade da onda (v_{us}) propostas pelo Projeto de Norma (ABNT, 2007) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.....	92
24	Faixas de variação da velocidade da onda (v_{us}) obtidas através de ensaios de ultra-som (vigas na umidade de equilíbrio) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.	94
25	Faixas de variação da velocidade da onda de tensão (v_{ot}) obtidas através de ensaios de ondas de tensão (vigas na umidade de equilíbrio) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.....	95
26	Faixas de variação da frequência (f) obtidas através de ensaios de vibração transversal (vigas na umidade de equilíbrio) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.	95
27	Teste de comparação de médias (Tukey) entre as grandezas dos ensaios não-destrutivos, agrupados em classes visuais das vigas (medições com as vigas na condição verde).....	97
28	Teste de comparação de médias (Tukey) entre as grandezas dos ensaios não-destrutivos, agrupados em classes visuais das vigas (medições com as vigas na umidade de equilíbrio ao ar).	97
29	Teste de comparação de médias (Tukey) entre as grandezas dos ensaios destrutivos, agrupados em classes visuais das vigas (medições com as vigas na umidade de equilíbrio ao ar)	99
30	Quadro sintético com resultados parciais obtidos na simulação dos lotes de vigas.....	102
31	Valores característicos do coeficiente de variação (%) de grandezas obtidos a partir de simulação computacional de 300 lotes de vigas madeira.	103
32	Quadro sintético com resultados parciais obtidos na simulação dos lotes de vigas para análise dos erros de classificação.....	106
33	Valores característicos dos erros na estimativa da resistência dos lotes simulados.....	107

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Corte de tronco de <i>Eucalyptus</i> , evidenciando o cerne e o albúrnio.	18
2	Vista geral (a) e detalhada (b) de um dos talhões selecionados para amostragem das árvores. A faixa sem casca das árvores foi usada na mensuração de parâmetros da árvore viva, antes do abate.	48
3	Processamento mecânico da madeira de <i>Eucalyptus</i> do programa experimental. a) marcação das dimensões longitudinais desejadas; b) e c) operação de destopo; d) aspecto final das peças.	48
4	Avaliação visual dos defeitos nos clones da madeira de <i>Eucalyptus</i> . a) presença de nós de canto; b) medição do esmoado; c) rachaduras de topo; d) rachaduras longitudinais e presença de nós.	50
5	Ensaio não-destrutivo de ondas de tensão nas peças dos clones de madeira de <i>Eucalyptus</i> . Preparação do material a) Pré-furação; b) fixação dos parafusos; c) acelerômetro de chegada; d) execução do ensaio com o auxílio de um martelo instrumentado.	52
6	Ensaio não-destrutivo utilizando ultra-som nas peças dos clones de madeira de <i>Eucalyptus</i> . a) equipamento Steinkamp modelo BP-7; b) detalhe do transdutor de chegada; c) transdutor de partida; d) tomada do tempo de propagação da onda.	53
7	Ensaio não-destrutivo de vibração transversal na madeira de <i>Eucalyptus</i> . a) aparato modelo 340 da Metriguard; b) ajuste do vão central ; c) detalhe da célula de carga; d) execução do ensaio através de um impacto na porção central da peça.	55
8	Ensaio de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia. a) vista geral do equipamento; b) detalhe do rolete de transferência de carga; c) dispositivo de contato entre a viga e o apoio; d) contraentamento.	56
9	Ensaio de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia. a) aparato para medição da deformação na viga; b) aplicação da carga de carregamento; c) continuidade do ensaio após retirada do extensômetro; d) ruptura da peça.	57
10	Tipologia de ruptura no ensaio de flexão estática.	58
11	Tela inicial, com apresentação dos valores mensurados para as grandezas para uma viga específica	63

		Página
12	Tela de início da simulação, com seleção do número de lotes e do número de vigas sorteadas por lote. A função “calcular” disponibiliza as médias e coeficientes de variação das grandezas em cada lote, a função “calcular parte 2” disponibiliza a resistência característica à compressão paralela às fibras do lote e a função “calcular parte 3” disponibiliza os erros de classificação das vigas no lote.	64
13	Valores descritivos e teste de normalidade das grandezas avaliadas nos clones de <i>Eucalyptus</i> sp. na condição verde	83
14	Valores descritivos e teste de normalidade das grandezas avaliadas nos clones de <i>Eucalyptus</i> sp. na condição em equilíbrio ao ar.	84
15	Regressão linear, intervalo de previsão e teste de normalidade dos resíduos da regressão linear da madeira de <i>Eucalyptus</i> sp. na condição verde	88
16	Regressão linear, intervalo de previsão e teste de normalidade dos resíduos da regressão linear da madeira de <i>Eucalyptus</i> sp. na condição de equilíbrio ao ar	93
17	Dispersão dos valores do coeficiente de variação da resistência à compressão paralela às fibras nos lotes, em relação às dispersões dos coeficientes de correlação da velocidade de propagação das ondas de ultra-som (a) e módulo de elasticidade à flexão (b).	104

1. RESUMO

A classificação e padronização da madeira serrada é uma atividade de rotina, desenvolvida por países que se apresentam como grandes consumidores deste material.

O Brasil não pratica a classificação dos materiais à base de madeira, em geral. Essa afirmação é particularmente verdadeira para o caso da madeira serrada. Em outros segmentos de mercado, em que o país ocupa posição de destaque como fornecedor internacional, tem-se visto forçado a estabelecer padrões mínimos de qualidade e a atingir marcas de conformidade, para continuidade dos fornecimentos.

O Centro Virtual de Pesquisas em Madeiras – CEVEMAD, através do Laboratório de Ensaaios de Materiais – FCA/UNESP tem desenvolvido pesquisas com o intuito principal de avaliar a sensibilidade dos ensaios não-destrutivos na avaliação de alguns defeitos potenciais presentes correntemente nas madeiras de rápido crescimento (notadamente pinus e eucalipto). No enfoque dado pelo CEVEMAD – Centro Virtual de Pesquisas em Madeiras, os ensaios não-destrutivos são encarados como ferramenta alternativa e/ou complementar no processo de classificação das madeiras (classificações quanto às classes de resistência e categorias de qualidade).

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a sensibilidade dos principais métodos não-destrutivos como ferramentas alternativas e/ou complementares no processo classificatório de vigas (6cm x 12cm x 280 cm) de *Eucalyptus* sp. As madeiras empregadas no programa experimental foram obtidas a partir de material genético

disponibilizado por empresas de reflorestamento da região do cerrado do Estado de Minas Gerais – MG. Foram amostradas 296 vigas de dimensões estruturais (6cm x 12cm x 280cm) de 10 clones distintos de *Eucalyptus*, que foram ensaiadas não-destrutivamente (métodos das ondas de tensão, ultra-som, vibração transversal) e destrutivamente (flexão na viga e compressão paralela em corpos-de-prova). Os resultados de todos os ensaios foram correlacionados entre si, considerando-se os defeitos presentes em cada uma das peças estudadas e os ensaios não-destrutivos mostraram sensibilidade na classificação de peças de dimensões estruturais da madeira serrada de *Eucalyptus* quando enquadradas em faixas de velocidade, tanto na condição verde quanto na condição de umidade de equilíbrio ao ar. Os ensaios não-destrutivos não mostraram sensibilidade na avaliação da homogeneidade de lotes de madeira serrada a partir da rigidez das vigas com a extensão do valor esperado para o coeficiente de variação das resistências às solicitações normais.

Palavras-chave: classificação visual, classificação mecânica, defeitos, método do ultra-som, método da vibração transversal, método das ondas de tensão, *Eucalyptus sp.*

CLASSIFICATION OF STRUCTURAL DIMENSION LUMBER OF *Eucalyptus* sp. USING NON-DESTRUCTIVE TESTS. Botucatu, 2007. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCELO NOGUEIRA

Adviser: ADRIANO WAGNER BALLARIN

Co-Adviser: JOSÉ TARCISIO LIMA

2. SUMMARY

The classification and standardization of the sawn wood is an usual activity, developed by countries that come as great consumers of this material. Brazil does not practice the classification of wood base materials, in general. This is particularly true for the case of the sawn wood. In other segments, in which Brazil occupies prominent position as international supplier, it has been forced to establish minimum patterns of quality and to reach conformity marks. The Virtual Center of Researches on Wood - CEVEMAD, through the Laboratory of Testing Materials - FCA/UNESP – Sao Paulo State University – Brazil has carried out researches with the main objective of evaluating the sensibility of non-destructive tests in the evaluation of potential defects in wood from fast grown plantation (especially Pinus and Eucalyptus). In its peculiar focus, non-destructive tests are considered as alternative and/or complementary tool in the sawn wood classification process (either mechanical and visual classification). This work had the main objective of evaluating the sensibility of most common non-destructive tests in the classification of dimension lumber of from fast grown Eucalyptus plantation. Wood was obtained from genetic material supplied cultivated at Curvelo region, Minas Gerais State, Brazil. 296 beams of structural dimensions (6 cm x 12 cm x 280 cm) from 10 different clones of *Eucalyptus* were sampled. Beams were non-destructively (stress wave, ultrasound and resonance methods) and destructively (static bending and compression parallel to grain) tested. The results of tests were correlated, being considered the present defects in each one of the studied pieces and the non-destructive tests showed sensibility in the classification of pieces of structural dimensions of the sawn wood of Eucalyptus when framed in strips of

velocity, both in the green condition and in the equilibrium moisture content condition. The non-destructive tests did not show sensibility in the evaluation of the homogeneity of lots of sawn wood starting from the rigidity of the beams with the extension of the expected value for the coefficient of variation of the resistances to the normal requests.

Keywords: visual classification, mechanical classification, non destructive tests, ultrasound, transverse vibration, stress wave, *Eucalyptus* sp.

3. INTRODUÇÃO

Com a escassez da madeira de florestas nativas e com o aumento das pressões de ordem ambiental, a necessidade da busca de alternativas para suprir a demanda de matéria-prima para a produção de madeira serrada torna-se cada vez mais importante. A opção mais viável para substituição do uso das folhosas nativas é o eucalipto. Excelentes condições edafo-climáticas para o desenvolvimento dos povoamentos, elevadas produtividades em amplas áreas reflorestadas, domínio crescente da tecnologia de produção de sua madeira e a certeza de gerar grandes volumes, que atendem a várias utilizações, conferem aos povoamentos de eucalipto posição ímpar no setor.

De fato, a diversidade de espécies, aliada à variabilidade das propriedades da madeira, permitem a introdução do gênero em programas de melhoramento genético, de condução da floresta e de manejo visando à produção de povoamentos homogêneos e altamente produtivos.

A madeira de eucalipto atende, com qualidade, os setores de produção de polpa celulósica, chapas de fibras, carvão vegetal e lenha.

Além desses usos mais tradicionais, o gênero vem se destacando como importante matéria-prima para a utilização como produto de maior valor agregado na indústria moveleira e de construção civil.

As características favoráveis do eucalipto, juntamente com a utilização de tecnologias adequadas de processamento, podem possibilitar a redução de importantes defeitos da madeira, tais como as rachaduras de topo e empenamentos em toras

e tábuas. Estes defeitos são provocados, em grande parte, pelas tensões de crescimento, que se destacam como uma característica que contribui de forma negativa para a produção de madeira com dimensões e qualidade apropriadas ao desdobro e laminação.

Entretanto, com a prática atualmente vigente no mercado, dois aspectos são ainda condicionantes da qualidade desse material para produção de madeira serrada:

- a utilização de árvores de plantios originalmente estabelecidos para outros usos (celulose e papel, lenha, ...) e que, por conseguinte, não passaram por técnicas de manejo e melhoramento florestal próprias à produção de madeira serrada, como o maior espaçamento no plantio, a desrama, o desbaste seletivo e a seleção de material genético de melhor comportamento em serraria, por exemplo;
- a idade reduzida de corte, que potencializa diversas ocorrências condicionantes do desempenho mecânico, como por exemplo as elevadas tensões de crescimento e as diferenças marcantes no lenho (regiões de medula, madeira juvenil e adulta, cerne e alburno).

Nessa situação, em muitos casos a simples avaliação do módulo de elasticidade ou da resistência à compressão paralela em corpos-de-prova não se mostram suficientes para uma qualificação estrutural do material. Avaliações e ensaios complementares são, cada vez mais, indispensáveis para garantir a efetividade e a segurança de um processo classificatório.

A classificação e padronização da madeira serrada é uma atividade de rotina, desenvolvida por países que se apresentam como grandes consumidores deste material.

O Brasil não pratica rotineiramente a classificação dos materiais à base de madeira. Essa afirmação é particularmente verdadeira para o caso da madeira serrada. Em outros segmentos de mercado, em que o país ocupa posição de destaque como fornecedor internacional, tem-se visto forçado a estabelecer padrões mínimos de qualidade e a atingir marcas de conformidade, para garantir a continuidade dos fornecimentos.

A norma brasileira NBR 7190/97 - Projeto de Estruturas de Madeira - preconiza a classificação de lotes de madeira para uso estrutural considerando-se dois quesitos distintos: classes de resistência - associadas exclusivamente à aptidão estrutural do

material - e categorias – associadas à qualidade (presença de defeitos) e homogeneidade das peças de madeira do lote. A partir desses dois quesitos é realizada a classificação estrutural e estabelecida a resistência de cálculo da madeira do lote considerado.

Pelas potencialidades já reveladas – em trabalhos internacionais e nacionais - de alguns ensaios não-destrutivos, eles surgem como ferramenta alternativa e promissora no processo de classificação de lotes de madeira.

No enfoque dado pelo CEVEMAD – Centro Virtual de Pesquisas em Madeiras, os ensaios não-destrutivos são encarados como ferramenta alternativa e/ou complementar no processo de classificação das madeiras (classificações quanto às classes de resistência e categorias de qualidade).

Relativamente ao primeiro quesito - classificação mecânica da madeira - tradicionalmente conduzida no Brasil com ensaios destrutivos de compressão paralela às fibras - alguns métodos não-destrutivos podem ser empregados alternativa ou complementarmente a esses ensaios mecânicos. Além de serem rápidos e de baixo custo, poderão também ser aplicados em todas as peças de dimensões estruturais do lote sob análise.

Da mesma forma, relativamente ao segundo quesito – qualidade e homogeneidade do lote – que compreende a classificação visual, os ensaios não-destrutivos poderão ser utilizados preliminarmente a ela, condicionando-a somente às peças estruturais que apresentem desempenho relativo insatisfatório nessa primeira análise, otimizando, assim, todo esse processo.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de avaliar a sensibilidade de diversos métodos não-destrutivos como ferramentas alternativas e/ou complementares no processo classificatório de vigas (6cm x 12cm x 280 cm) de *Eucalyptus* sp.

Teve ainda os seguintes objetivos específicos:

- estabelecer a associação entre as grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos e nos ensaios destrutivos convencionais;
- estabelecer a associação entre as grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos e as classes obtidas na classificação visual da madeira sob análise;

- verificar a possibilidade de classificação das peças serradas de madeira em classes de resistência, a partir das grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos;
- verificar a efetividade de métodos não-destrutivos na detecção de defeitos (nós, desvios de grã, empenamentos) e outras ocorrências em vigas de eucalipto de dimensões estruturais;
- verificar a possibilidade de avaliação da homogeneidade de lotes de madeira serrada, a partir das grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A madeira de eucalipto atende, com qualidade, os setores de produção de polpa celulósica, chapas de fibra, carvão vegetal e lenha. Além desses usos mais tradicionais, o gênero vem se destacando como importante matéria-prima para a utilização como produto de maior valor agregado na indústria moveleira e de construção civil.

Nesta revisão bibliográfica é apresentada uma compilação de trabalhos internacionais e nacionais que tratam da classificação de madeira serrada, prática indispensável para seleção de material para os usos mais recentes, citados.

4.1 Métodos de classificação da madeira

Para a classificação estrutural de peças de madeira podem ser utilizados normalmente dois métodos, o visual e o mecânico.

Os dois métodos podem ser utilizados, isolada ou complementarmente, para o estabelecimento de valores de cálculo (ou eventualmente valores admissíveis) da resistência da peça (ou do lote à qual ela pertença).

Na classificação visual da madeira, cada peça é avaliada quantitativa e qualitativamente para detecção do tipo, localização e tamanho dos diversos defeitos que podem afetar a resistência mecânica. Os valores de cálculo (ou admissíveis) da resistência da madeira classificada visualmente podem ser obtidos a partir de tabelas, confeccionadas a partir

dos resultados de ensaios mecânicos de resistência com corpos-de-prova ou peças de dimensões estruturais (GREEN e HERNANDEZ, 1998).

Ainda de acordo com os autores, a classificação mecânica é normalmente conduzida com máquinas (MSR – *Machine Stress Rating*) que avaliam propriedades mecânicas (rigidez à flexão, normalmente) ou físicas (densidade) por meio de ensaios não-destrutivos. É rotineiramente complementada com uma classificação visual, para mensurar determinadas ocorrências que as máquinas não podem acessar.

Na América do Norte, a maior parte da madeira estrutural ainda é classificada quase que exclusivamente por método visual. Porém, o volume de madeira classificada mecanicamente tem apresentado incrementos significativos. (GALLIGAN e MCDONALD, 2000)

No Quadro 1 são apresentadas as normas norte-americanas aplicáveis para classificação visual ou mecânica de peças de dimensões estruturais das principais espécies de madeira lá utilizadas.

Quadro 1 – Normas norte-americanas para a classificação estrutural da madeira.

Dimensão	Classificação	Norma	Espécie
Tábuas (<i>boards</i>)	Visual	ASTM D245	Todas
Caibros e Vigas (<i>Dimension Lumber</i>)	Visual	ASTM D245	Redwood, cedars, minor western softwoods, outras folhosas (<i>hardwoods</i>)
		ASTM D1990	Outras coníferas (<i>softwoods</i>)
	Mecânica	Procedimentos dos fabricantes das MSR	Todas
Postes (<i>Timbers</i>)	Visual	ASTM D245	Todas

Fonte: Green e Hernandez (1998)

No Brasil, poucos trabalhos têm contemplado a classificação de peças estruturais, seja ela visual ou mecânica.

4.2 Classificação visual da madeira

4.2.1 Premissas e componentes de uma classificação visual

A madeira de melhor qualidade é aquela que apresenta menos defeitos. Alguns defeitos são intrínsecos a determinadas espécies florestais; outros são consequência das condições em que foi conduzido o plantio e o processamento da madeira, desde a derrubada da árvore até sua destinação final.

Alguns defeitos intrínsecos à madeira podem ser minimizados através do manejo florestal adequado. Os nós mortos, por exemplo, que são defeitos causados na madeira pela presença de galhos secos, podem ser evitados através de desramas bem conduzidas na floresta. Da mesma forma, os diferentes tipos de empenamentos ocorrem na madeira geralmente durante o desdobro e secagem, por liberação das tensões de crescimento. O desdobro balanceado das toras, na maioria desses casos, tem se mostrado uma prática que minimiza esses defeitos.

A classificação visual da madeira parte da premissa de que as propriedades mecânicas de uma peça de madeira diferem das propriedades mecânicas da madeira isenta de defeitos devido às características de crescimento, e que tais características poder ser vistas e julgadas pelo olho humano. Com o auxílio de regras de classificação, as características de crescimento são usadas para selecionar a madeira em classes de qualidade (CARREIRA, 2003).

A avaliação visual é o primeiro e o mais tradicional método de classificação da madeira, sendo bastante utilizada na Comunidade Européia e nos EUA. Esse método consiste na análise das peças estruturais, por um profissional de larga experiência, visando à detecção de nós, desvio e distorção da grã, presença de fungos e insetos e demais defeitos que venham comprometer a aparência e resistência das peças (GREEN e HERNANDEZ, 1998).

A classificação é realizada com base na quantidade de defeitos, sendo as classes determinadas pelo Eurocode-5 na Europa, ou, nos EUA, por normas específicas adotadas por cada estado federativo.

A avaliação visual é também muito utilizada para a pré-classificação de peças, ou seja, para o descarte inicial de peças de madeira contendo irregularidades (nós,

bolsas de resina, etc.), inclinações acentuadas de grã ou partes da seção com menores densidades (medula, faixas de parênquima, etc.).

Conforme já comentado, a classificação visual pode ser empregada como único método de classificação de lotes de madeira ou receber, em complementação, a classificação mecânica. No caso de ser usada como método exclusivo, a definição dos valores de cálculo (ou admissíveis) da resistência da madeira classificada por esse método podem ser obtidos a partir de tabelas (GREEN e HERNANDEZ, 1998).

Assim, o estabelecimento de um método de classificação visual de madeira deve compreender duas etapas distintas:

- atribuição de uma classe para cada peça de madeira a partir da identificação visual de certas características de crescimento;
- determinação das propriedades de resistência e rigidez para cada classe de uma determinada espécie (imprescindível no caso da utilização exclusiva do método visual como ferramenta de classificação de lotes de madeira).

Na elaboração do código de classificação visual europeu realizou-se um grande estudo das propriedades mecânicas de madeira serrada associada à classificação visual. Para isso, foram analisadas amostras de 580 peças de seções comerciais (10x14 cm, 10x18 cm, 10x22 cm). As vigas foram ensaiadas à flexão, conforme as especificações do código CIB W18 (Rilem/CIB-3tt, 1978). Os resultados mostraram que a aplicação da técnica visual, como forma única de avaliação, produziu resultados incertos, muito diferentes de um país a outro, além de ser antieconômica (KESSEL e SANDOZ, 1989; SANDOZ, 1991).

Sandoz (1989) realizou estudo comparando a classificação da madeira por meio dos métodos visual e estático (módulo de elasticidade e resistência). Os resultados demonstraram que o método de classificação visual apresentou uma porcentagem de acerto, em relação à classificação por método estático, de 49%. A maior porcentagem de erro foi observada para a madeira classificada como de primeira classe (45%). Para a madeira classificada como de segunda classe o erro foi de apenas 6%. O autor concluiu, então, que a classificação visual não é adequada e que, por introduzir grandes erros, os fatores de segurança das estruturas tornam-se tão elevados.

O sistema norte-americano de classificação visual de madeira de dimensões estruturais foi desenvolvido em 1923 pelo *USDA Forest Service - Forest Products*

Laboratory (USDA/FS-FPL) para que atendessem aos critérios de segurança e economia e balizassem os projetistas na busca por tensões admissíveis do material.

A norma ASTM D245-93 (*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 de como medir os defeitos e fornece meios para limitar os defeitos em função de uma razão de resistência, ou seja, define o princípio de como as regras de classificação devem ser desenvolvidas (CARREIRA, 2003). Trata somente da classificação estrutural a partir de uma classificação visual, que nos Estados Unidos é feita em 95 a 98% da madeira produzida (MADSEN, 1992).

Segundo a ASTM D245-93, a classificação visual é realizada pelo exame das quatro faces e das extremidades de cada peça. A localização, a natureza dos nós, bem como outras características aparentes na superfície da madeira são avaliadas por todo comprimento da peça. A norma fornece equações teóricas para a determinação da máxima dimensão permissível dos nós em cada classe.

Segundo Green e Kretschman (1999) a determinação das propriedades de dimensionamento da madeira nos Estados Unidos foi baseada nas propriedades mecânicas em corpos-de-prova isentos de defeitos, ajustados por coeficientes de modificação, de acordo com as dimensões dos nós e outros defeitos naturalmente decorrentes das características de crescimento. Assim, cada propriedade de resistência da madeira visualmente classificada é derivada do produto da resistência característica de corpos-de-prova isentos de defeitos, pela razão de resistência e pelos fatores de modificação.

Doyle e Markwardt (1996) realizaram ensaios em peças estruturais de madeira de *Southern Pine* com o intuito de estabelecer propriedades de resistência em peças de madeira visualmente classificada e verificar as relações entre propriedades de resistência e rigidez, chegaram à conclusão de que nas análises das classes visuais, 5,1% das peças ensaiadas à flexão romperam abaixo do nível de resistência apresentado nas regras de classificação, valor muito próximo ao limite de exclusão de 5% associado aos limites de resistência. Já no ensaio de compressão paralela às fibras, nenhuma peça falhou ao nível de resistência estabelecido para a classe.

Ainda segundo Doyle e Markwardt (1996), a classificação visual mostrou uma eficiência média de 48% para a flexão e 43% para a compressão, sendo a

eficiência uma relação entre a resistência apresentada nas regras de classificação visual dividida pela capacidade total da peça. Isto ilustra como a classificação visual contém grande quantidade de material de elevada resistência que não é usada com seu total potencial.

4.2.2 Defeitos

As operações de identificação, quantificação e qualificação dos defeitos constituem a primeira operação de uma classificação visual de madeiras.

Os principais defeitos existentes na madeira de eucalipto são: nós, inclinação da grã, presença de medula, rachaduras e empenamentos. Embora não se constituam como defeitos, as diferenciações no lenho como, por exemplo, regiões de cerne e alburno e de madeira juvenil e adulta, quando presentes concomitantemente em um mesmo elemento, podem induzir o aparecimento de defeitos.

4.2.2.1 Nós

Os nós, originários dos galhos existentes nos troncos da madeira, interrompem a direção das fibras dando origem ao desvio da grã, com pronunciadas inclinações. A influência de um nó na resistência da peça depende do seu tamanho e localização. Quando localizados próximos às bordas de uma peça estrutural, reduzem consideravelmente suas resistências à tração, na proporção da largura que ocupam na viga (FURIATI, 1981).

Existem nós firmes e nós soltos. Ambos reduzem a resistência da madeira para algumas solicitações, por interromperem a continuidade da direção das fibras. Os nós podem causar, também, efeitos localizados de tensão concentrada.

O nó é um defeito bastante comum e pode afetar de maneira significativa a resistência da madeira. Essa redução é mais significativa em peças tracionadas do que em peças comprimidas. Estudos demonstraram que essa redução de resistência pode estar em torno de 24%, quando o nó está em uma posição central na peça, e em torno de 43%, quando se localiza próximo às bordas (HAYGREEN e BOWER, 1995).

4.2.2.2 Inclinação da grã

O desvio ou inclinação da grã é normalmente descrito como sendo o ângulo entre a direção das fibras e o eixo da peça (ASTM D 245-81). Bechtel e Allen (1987) definiram desvio de fibras como sendo o ângulo entre os elementos longitudinais da madeira e o eixo do tronco.

A inclinação da grã pode ocorrer como resultado do corte das peças ou como resultado da existência natural de grã espiralada. No primeiro caso, essa inclinação é facilmente notada, principalmente em espécies onde se pode visualizar os anéis de crescimento. Já no segundo caso, mesmo quando os anéis de crescimento estão paralelos às bordas da peça, internamente podem ocorrer inclinações significativas (HAYGREEN e BOWER, 1995).

Essa inclinação pode ter influência significativa sobre as propriedades da madeira, a partir de certos valores. A norma brasileira NBR 7190/97 (Projeto de Estruturas de Madeira) permite desconsiderar a influência da inclinação da grã para ângulos até 6°. A partir desse valor é preciso considerar a redução da resistência pela fórmula de Hankinson.

É importante lembrar, ainda, que o efeito da inclinação da grã tem diferentes magnitudes, dependendo do esforço ao qual a peça está submetida. Furiati (1981) declarou que para peças submetidas à compressão paralela, o efeito da inclinação da grã é mais significativo, pois origina componentes de tensão que agem em direções nas quais a madeira apresenta menor resistência. Por outro lado, Haygreen e Bower (1995) declararam que a tração é mais fortemente afetada pela inclinação da grã do que a flexão ou a compressão.

Por último, cabe ainda destacar que os efeitos da inclinação da grã sobre as características de resistência são mais significativos do que sobre as características de elasticidade (FURIATI, 1981).

4.2.2.3 Medula

A medula, porção resultante do crescimento vertical da planta (BODIG e JAYNE, 1993), situa-se na parte central do tronco e sua dimensão radial não se modifica para uma mesma seção longitudinal com a idade da árvore.

Quando a peça serrada contém a medula, ocorre uma diminuição da resistência mecânica. No cerne, na região próxima à medula, existem fortes tensões internas, o que facilita o aparecimento de rachaduras (PUCCINI, 2002).

4.2.2.4 Empenamentos

Empenamento é qualquer distorção da peça de madeira em relação aos planos originais de suas superfícies (JANKOWSKY, 1984).

Os empenamentos ocorrem na madeira durante o desdobro e secagem. O desdobro provoca encurvamento das peças em virtude das tensões de crescimento. Durante a secagem podem surgir vários tipos de empenamento. Em algumas espécies de eucalipto são comuns o encanoamento, devido a grande diferença entre a contração radial e contração tangencial, o que pode ser contornado através do empilhamento adequado durante a secagem. Outro tipo de empenamento que pode ocorrer durante a secagem, o torcimento, sua causa é a grã espiralada contidas nas árvores, algumas espécies de eucalipto apresentam indivíduos com esta característica. Além do torcimento, essa característica, ocasiona sério fendilhado nas peças de madeira, e nos casos mais sérios a madeira é inutilizada. A grã espiralada é uma característica genética e pode ser identificada nas árvores. (PONCE, 1995)

4.2.2.5 Rachaduras

As rachaduras aparecem como consequência da diferença de retração nas direções radial e tangencial da madeira e de diferenças de umidade (gradiente de umidade), durante o processo de secagem. Essas diferenças levam ao aparecimento de tensões que, tornando-se superiores à resistência dos tecidos lenhosos, provocam a ruptura da madeira.

As rachaduras de topo aparecem, geralmente, nos raios que são constituídos por células parenquimáticas de reduzida resistência mecânica. São consequência na diferença entre as retrações tangencial e radial. É bastante difícil a secagem de seções transversais de toras sem que apareçam rachaduras de topo. (SEVERO, 2007)

4.2.2.6 Tensões de crescimento

Segundo a Sociedade Americana de Florestas, as tensões de crescimento são definidas como tensões encontradas nos troncos lenhosos verdes, e são um

tipo de mecanismo apresentado pelas folhosas arbóreas para que permaneçam eretas (LISBOA, 1993).

Os defeitos causados pelas tensões de crescimento limitam o aproveitamento da madeira, diminuindo o rendimento em madeira serrada e laminada em função da redução das dimensões das peças, o que reflete de forma negativa no seu valor final de mercado. Segundo Scanavaca Júnior e Garcia (2003), as perdas no rendimento em madeira serrada causadas pelas tensões de crescimento são da ordem de 50%.

As tensões de crescimento causam na madeira defeitos como rachaduras de topo de toras e tábuas, rachaduras internas, que ocorrem no momento da liberação das tensões, aparecimento de fendas e empenamento das peças durante o processo de desdobro, além do cerne quebradiço (LISBOA, 1993).

4.2.2.7 Diferenciações no lenho

A diferenciação no lenho tratada na bibliografia com maior incidência e ênfase é a presença de medula, na parte central do tronco das árvores. Para os plantios comerciais de rápido crescimento, sobretudo, tem-se mostrado importante o estudo de outras diferenciações no lenho como, por exemplo, as regiões de cerne e alborno e as regiões de madeira juvenil e adulta.

4.2.2.7 a) Cerne e alborno

Segundo compilação feita por Benjamin (2007), mas já descrita por muitos autores, uma das principais funções do lenho é conduzir seiva mineral (água + sais minerais) da raiz para as folhas da árvore. Entretanto, essa função não é assumida indefinidamente. Em determinado estágio de sua evolução, as células podem ter seu lume bloqueado por tiloses ou mesmo pela deposição de extrativos. Quando isso ocorre, as células morrem, param de conduzir a seiva mineral e passam a ter a função de depósito dos extrativos. A porção do lenho com células mortas recebe o nome de cerne e a porção fisiologicamente ativa denomina-se alborno. A transformação de alborno para cerne, conhecida como processo de cernificação, ocorre de forma contínua ao longo da vida da árvore. A cada ano, novas camadas de alborno transformam-se paulatinamente em cerne, na medida em que novo alborno se forma nas camadas mais externas (próximas do câmbio) do tronco. De acordo com

Silva e Trugilho (2003), o processo de cernificação é caracterizado não só pela morte das células do parênquima radial, mas também pelo consumo de amido, aumento no conteúdo de extrativos e tiloses (em alguns gêneros), consumo de oxigênio e liberação de CO. Foelkel et al. (1976) relatam que o processo de cernificação está associado ao período onde cessam as alterações nas dimensões das fibras e a organização estrutural da parede celular.

Em algumas espécies pode-se verificar visualmente a transição de alburno para cerne, por meio de um escurecimento do lenho (Figura 1), devido à deposição dos extrativos, os quais lhe conferem, em algumas situações, uma maior durabilidade contra deterioração (por fungos ou insetos). Esse escurecimento não é condição imprescindível para ocorrência do cerne.

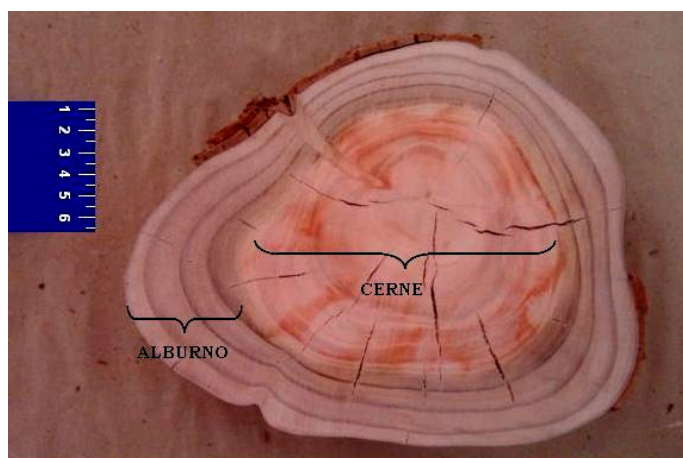


Figura 1 – Corte de tronco de *Eucalyptus*, evidenciando o cerne e o alburno.

Fonte: Laboratório de Ensaios de Materiais - UNESP – Botucatu.

Além das diferenças apontadas entre o cerne e o alburno, Dadswell (1960) destacou que o cerne de uma árvore madura é bem uniforme quanto a suas propriedades, exceto na sua região mais central, onde se localiza o cilindro de madeira juvenil.

Relativamente à madeira do alburno, o de cerne é menos permeável, tem maior estabilidade dimensional e é ligeiramente mais denso (USDA, 1999).

Alguns autores afirmam que as propriedades básicas de resistência da madeira não são afetadas pela transição de alburno para cerne (USDA, 1999).

Bodig e Jayne (1993), compilando trabalho de Luxford, R.F.¹, comentam que os extrativos têm efeito pronunciado na resistência à compressão paralela às fibras, efeito relativamente menor na resistência à flexão (MOR) e muito pequeno efeito na resistência ao choque.

Na literatura nacional, a maioria dos trabalhos relaciona os teores de extrativos à resistência ao ataque de fungos e insetos, sem reportar seu efeito sobre a resistência mecânica.

4.2.2.7 b) Madeira juvenil e adulta

A madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore de forma cilíndrica, com diâmetro aproximadamente uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore, podendo formar parte do alburno ou do cerne no tronco, se este último já estiver presente na árvore (KRAHMER, 1986; ZOBEL e BUIJTENEN, 1989; COWN, 1992; EVANS et al., 2000).

Comparando-se coníferas com folhosas, a madeira juvenil é mais facilmente identificável nas coníferas (KRAHMER, 1986; ZOBEL e BUIJTENEN, 1989; EVANS et al. 2000).

De uma forma geral, a maioria dos artigos sobre madeira juvenil enfatiza que o crescimento rápido nas plantações origina a formação de madeira de qualidade inferior e que, na atualidade, é grande a proporção de madeira juvenil comercializada nos mercados, trazendo como resultado problemas de qualidade nos produtos obtidos deste tipo de matéria-prima (BROWN e McWILLIAMS, 1990).

Oliveira (1997) verificou que nas árvores de *Eucalyptus grandis*, de 16 anos de idade, é grande a proporção de lenho juvenil, o qual corresponde a um raio próximo de 80 mm. O mesmo autor, estudando *Eucalyptus citriodora*, concluiu pela análise do perfil densitométrico da madeira que a formação da madeira juvenil parece estar confinada nos primeiros 30 a 40 mm de raio.

Calonego et al. (2005) verificaram, através da mensuração do comprimento das fibras em discos retirados à várias alturas, que a região de ocorrência da

¹ Luxford, R.F. Effect of extractives on the strength of wood. J. Agric. Research, v.42, n.12, p.801-826, 1931.

madeira juvenil no sentido medula-casca em *Eucalyptus citriodora* ocorre aproximadamente entre 45 e 55 mm a partir da medula.

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade de lenho juvenil apresentam classes de resistências inferiores, sendo este o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (McALISTER e CLARK, 1991; GEIMER et al., 1997).

Tanto os módulos de elasticidade, como as resistências à compressão paralela e normal, à flexão estática e à tração paralela, são seriamente afetados pela presença de madeira juvenil (KRETSCHMANN e BENDTSEN, 1992; KRETSCHMANN, 1997; McALISTER et al, 1997; EVANS et al, 2000).

O trabalho de Benjamin (2007) estuda os efeitos das diferenciações de lenho reportadas (e sua interação) sobre algumas propriedades físicas e mecânicas de duas espécies de eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*). Para as árvores com idade variando de 28 a 29 anos, conclui que houve efeito da característica (madeira juvenil/madeira adulta e cerne/alburno) sobre as densidades básica e aparente, resistência à compressão paralela às fibras e dureza paralela às fibras. Porém, constatou que os efeitos causados pelas diferenças entre madeira juvenil e madeira adulta são mais marcantes que os efeitos causados pelas diferenças entre madeira de cerne e madeira de alburno.

4.3 Classificação mecânica

A classificação mecânica é o processo pelo qual a madeira é avaliada, em geral com amostragem em 100% do lote, para inferir propriedades físicas e mecânicas das peças que o compõem. A classificação mecânica pode, ainda, ser utilizada com outros objetivos como, por exemplo, a avaliação da homogeneidade de lotes de madeira.

Segundo Carreira (2003) institutos de pesquisa em madeira da Inglaterra, Austrália e América do Norte descobriram, em 1958, que a resistência e a rigidez à flexão da madeira eram altamente correlacionadas. Cada uma das instituições envolvidas desenvolveu uma máquina de classificação comercial usando este princípio.

A classificação é conduzida com o uso de ensaios não-destrutivos. Um dos métodos mais empregados, que constitui a base de funcionamento das máquinas de classificação de madeira (*MSR – Machine Stress Rating*), é o do ensaio de flexão dinâmica, no qual as peças de madeira atravessam a máquina, que monitora suas rigidezes.

O ensaio é altamente automatizado e o processo requer pouco tempo. Ao entrar na máquina, a madeira passa por uma série de rolos, o que provoca flexão na seção transversal da peça, medindo assim o módulo de elasticidade. Como há diferenciação de leitura dependendo do tipo de dispositivo (alguns equipamentos medem o módulo de elasticidade e classificam a madeira baseados no deslocamento vertical sobre um pequeno vão menor do que a peça e, outros, medem em relação a um pequeno vão, mas consideram os resultados obtidos em todo o comprimento da peça) a maneira com que os dados são obtidos e a maneira com que eles são analisados influenciam o enquadramento das peças nas classes. Por essa razão, a saída do dispositivo deve ser sempre calibrada com testes estáticos. A limitação desse equipamento é a classificação de materiais com espessura inferior a 38mm. Além do teste não-destrutivo, a madeira classificada pela máquina de tensão é submetida a uma inspeção visual.

No final da década de 70, outro método de classificação foi introduzido para fornecer madeira para a indústria de madeira laminada colada, o *E-rated*, baseado na medida do módulo de elasticidade em relação ao eixo de menor inércia da peça e na inspeção visual dos defeitos presentes na borda da face larga das peças. Apesar de utilizar os mesmo dispositivos mecânicos utilizados no sistema MSR, não pode ser considerado um sistema de classificação por resistência, pois não requer testes destrutivos para a avaliação das propriedades de resistência, somente testes não-destrutivos para medir o módulo de elasticidade (GALLIGAN E McDONALD, 2000).

Todos os sistemas de classificação mecânica empregam alguma forma de inspeção visual - uma avaliação visual - de características específicas que afetam a resistência e rigidez da peça. O sistema de inspeção visual utilizado com as máquinas de classificação por tensões limita as características de redução de resistência da peça, fixando estas características como uma fração da seção transversal (GALLIGAN e McDONALD, 2000).

As agências que supervisionam a classificação determinam limitações com relação ao diâmetro dos nós e outras áreas não testadas pelo dispositivo mecânico, localizados na borda das peças, como por exemplo, fendas, rachas, inclinação das fibras, medula, esmoados e empenamentos (GALLIGAN E McDONALD, 2000).

Em 1996, os sistemas de classificação por tensões alcançaram um nível comercial importante de uso na América do Norte, classificando aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos de madeira. Porém, a maior barreira para o crescimento do sistema de classificação mecânica por tensões é a competição comercial com a classificação visual. Os dois sistemas, que funcionam diferentemente, podem discordar em qual classe a madeira deve ser enquadrada (GALLIGAN e McDONALD, 2000).

Além do método da flexão dinâmica (a classificação pode também ser realizada com ensaio de flexão estática, não-destrutiva) existem diversos ensaios não-destrutivos que podem ser usados como ferramenta para uma classificação mecânica de madeiras, cabendo destaque a:

- Método da vibração transversal (*transverse vibration technique or resonance technique*) – consiste na análise da vibração de um exemplar de madeira, com obtenção do módulo de elasticidade do material a partir da análise das frequências principais de vibração.
- Método das ondas de tensão (*stress wave method*) – consiste na aplicação de uma onda de tensão (impacto) no material e análise do fenômeno de propagação desse estímulo. A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados nesses casos.
- Método da propagação de ondas de ultra-som - diversos institutos de pesquisa têm voltado suas atenções para as técnicas de ondas acústicas (*Acoustic emission - AE*) e ultrassônicas (*Acousto-ultrasonic emission - AU*), que se têm mostrado eficientes para determinados propósitos, como por exemplo a avaliação da orientação da grã da madeira.

Os ensaios não-destrutivos listados tem sido um dos focos de estudo do CEVEMAD – Centro Virtual de Pesquisas em Madeiras da FCA - Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, em Botucatu – SP, e são descritos com mais detalhes no item 4.5 deste trabalho.

Os componentes básicos de um sistema de classificação mecânica são:

- Seleção e estimativa da resistência por meio de métodos não-destrutivos de medidas de propriedades mecânicas relacionadas com as características visíveis de crescimento;
- Determinação dos valores de cálculo baseando-se na resistência estimada;
- Controle de qualidade para assegurar que as propriedades sejam obtidas.

4.4 Classificação de madeiras no Brasil

4.4.1 Classificação visual

A Norma para classificação de Madeira Serrada de Folhosas (IBDF, 1986) foi elaborada em 1986 pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, com a participação de entidades governamentais e associação de comércio e indústria de madeira, entidades importadoras internacionais, Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO) e pela Associação Técnica Internacional de Madeira Tropical – ATIBT, da França.

De acordo com a NBR 9487/86 – Classificação de madeira serrada de folhosas (ABNT, 1986), a classificação baseada nos defeitos da peça tem como princípio determinar a quantidade e a importância dos defeitos encontrados em toda a peça. Os conceitos utilizados nesse método de classificação são:

- elemento: é uma porção da peça que pode ser obtida por corte imaginário transversal ao eixo da peça. Assim sendo, a largura do elemento é sempre igual à largura total da peça;
- elemento limpo: é um elemento livre de defeitos. Contudo, podem-se permitir alguns defeitos em certas classes e em determinadas espécies. O comprimento do elemento limpo é expresso em unidades de 0,30 m;
- superfície limpa total: é a área do elemento ou a soma das áreas dos elementos limpos contidos na face (ou nas faces) da peça classificada;
- Rendimento de elementos limpos: é a percentagem que a superfície limpa total obtida representa. Essa relação é obtida nas quatro faces e os defeitos são imaginariamente

transportados para uma face e o rendimento de elementos limpos é obtido como especificado anteriormente;

- Melhor face: é a face na qual os defeitos depreciam menos a peça;
- Pior face: é a face na qual os defeitos depreciam mais a peça.

A NBR 9487/1986 faz referências às especificações para duas classificações:

- Mercado Geral – madeira em geral, destinada a ser re-serrada anteriormente à utilização final;
- Mercados Especiais – madeira em geral, destinada a ser utilizada nas seções fornecidas ou a certos usos finais específicos.

De maneira geral, a classificação apresentada nessa norma tem como objetivo determinar a qualidade de uma peça de madeira, definida em função da classe na qual a peça se enquadre. Uma classe é definida de acordo com a descrição da pior peça que possa nela ser incluída.

Cada classe pode conter todas as peças que se encontrarem entre o limite inferior dessa classe até aquelas que não possam ser incluídas na classe imediatamente superior a essa. Todas as peças de madeira de qualidade inferior à classe mais baixa são rejeitadas. Na presente norma, os seguintes métodos de classificação são usados para determinar as classes de qualidade:

- rendimento dos cortes limpos (para classificação das peças destinadas ao Mercado Geral);
- quantidade e importância dos defeitos encontrados na peça, isto é, classificação por aparência (Mercados Especiais).

O princípio da classificação baseada no rendimento dos cortes limpos consiste em determinar e considerar, relativamente à peça inteira, a parte isenta de defeitos na face a ser classificada. Nessa classificação apenas uma face é considerada. O resultado, ou seja, a superfície limpa total obtida, permite que a peça seja enquadrada em uma determinada classe.

As definições básicas utilizadas nesse processo de classificação são:

- cortes: porção retangular que pode ser obtida por corte imaginário, transversal ao eixo da peça, por corte imaginário longitudinal, ou pelas duas operações;

- corte limpo: é um corte isento de defeitos. Alguns defeitos podem ser tolerados em certas classes de qualidade e para determinadas espécies;
- unidade de corte (UC): é a área de um corte de 0,30 m de comprimento por 25 mm de largura. Quando esta área é livre de defeitos, ela é convencionalmente definida como uma Unidade de Corte Limpo (UCL). Para finalidades de cálculo, esse corte recebe o valor 1. Essas dimensões também servem como unidades de comprimento e largura para determinação do número de unidades de corte durante a classificação;
- superfície limpa total: é a área do corte limpo ou a soma das áreas dos cortes limpos contidos na face da peça classificada. No sistema de classificação por cortes, essa área é expressa pelo número de unidade de corte limpo;
- rendimento de cortes limpos: é o percentual máximo que pode ser obtido entre a soma das unidades de corte limpo e o total de unidade de corte, da face da peça a ser classificada;
- pior face: é a face na qual os defeitos depreciam mais a peça.

O sistema de classificação por cortes é empregado, de acordo com o que foi definido anteriormente, sobre a pior face, exceto se houver especificações em contrário. A classe da peça depende das dimensões, da natureza e da importância dos defeitos que contenha; das dimensões dos cortes limpos, da quantidade e do rendimento de cortes limpos. Os procedimentos da classificação são:

- a) determinar a pior face da peça.
- b) examinar visualmente a face, a fim de tomar uma decisão quanto à aceitação ou à rejeição da peça (dimensões da peça, pequenos defeitos, um defeito particular, ou um defeito muito importante, etc.) para a continuidade da classificação. Durante esse exame, deve-se ter o cuidado de verificar se a parte não incluída nos cortes limpos e também as bordas contêm defeitos que a excluam pelas exigências particulares da classe em que a peça deverá ser enquadrada. Onde houver dúvida, deve-se marcar com giz os defeitos da pior face da peça, a fim de delimitar um ou mais cortes limpos. Convém salientar que as dimensões dos cortes devem corresponder a múltiplos inteiros do comprimento e da largura de uma unidade de corte. É necessário satisfazer às seguintes condições: que as dimensões dos cortes limpos atendam aos requisitos mínimos da classe prevista, e que o número máximo de cortes limpos não seja superior ao da classe prevista, em função da área total da face classificada.

- c) determinar a quantidade de unidades de corte de cada corte limpo, para obter o total dessas unidades na peça. Esse total é comparado ao mínimo especificado a fim de incluir uma peça numa determinada classe.
- d) após a análise das condições supracitadas, caso a peça não satisfaça uma das condições, deverá ser enquadrada numa classe inferior ou rejeitada.

Ainda segundo a NBR 9487, os defeitos são avaliados de acordo com os critérios de classificação e são eliminados por corte imaginário transversal, para determinar os elementos limpos. A classe da peça depende da aparência, das dimensões, da natureza, quantidade e importância dos defeitos que contenha, do comprimento dos elementos limpos, e da quantidade de elementos. O procedimento a ser seguido é:

- a) escolher a face ou as faces que determinem a classe da peça, em função das exigências peculiares de cada um dos Mercados Especiais;
- b) examinar visualmente a peça, o que possibilitará julgar os defeitos e tomar a decisão quanto à aceitação em uma classe ou à rejeição da mesma. Em caso de dúvida, deve-se marcar com um giz os elementos limpos da peça, que devem ser os maiores possíveis. O rendimento, a quantidade e o comprimento dos elementos limpos enquadram a peça na classe apropriada;
- c) calcular a percentagem que a superfície limpa total obtida representa em relação à superfície total da face da peça classificada (rendimento de elementos limpos) ou determinar o comprimento total dos elementos limpos, expresso como percentagem do comprimento total da peça, já que a largura dos elementos é constante e igual à largura da peça.

Mais recentemente, a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – publicou, em 2002, a NBR 14806/2002 – Madeira serrada de eucalipto – Requisitos - , no intuito de normatizar o uso e a comercialização da madeira serrada de eucalipto. No que tange à classificação visual propriamente dita, a presente norma traz detalhadamente a forma correta de fazer a medição e quantificação de defeitos nas peças de madeira de eucalipto, agrupando-as em 5 classes distintas, abandonando o conceito de Mercados Gerais e Mercados Especiais, antes preconizado pela NBR 9487/86.

Pelo texto normativo e de forma sintética, pode-se dizer que a primeira classe não admite peças que contenham qualquer um dos seguintes defeitos: bolsa de goma e

veios de quino, encurvamento complexo, fendilhado, fissuras de compressão, furos de insetos e galerias, madeira ardida ou podridão, medula, nós de todos os tipos e torcimento. A primeira classe admite, em até 10% do lote, peças com os seguintes defeitos: arqueamento e encurvamento (até 5mm por metro de comprimento), esmoados (até o limite de 20% da espessura, 10% da largura e cumulativamente 20% do comprimento).

A segunda classe não admite peças que contenham: bolsa de goma, colapso, encurvamento complexo, fissuras de compressão, furos de insetos e galerias, madeira ardida ou podridão, medula, nós soltos, nós vazados, nós cariados, nós de gravata e nós de coloração escura (admite-se em uma das faces, um nó firme com a mesma coloração da madeira e com diâmetro inferior a 25mm) e torcimento. Na segunda classe admite-se: arqueamento e encurvamento (até 10mm por metro de comprimento), esmoados (em uma única quina e em até 10% do lote, com espessura não superior a 20% da peça, 10% da largura e cumulativamente 20% do comprimento).

A terceira classe não admite peças que contenham qualquer um dos seguintes defeitos: bolsa de goma e veios de quino, encurvamento complexo, fissuras de compressão, furos de insetos e galerias, madeira ardida ou podridão, medula, nós soltos, vazados e cariados e torcimento. A terceira classe admite peças com os seguintes defeitos: arqueamento e encurvamento (até 10mm por metro de comprimento em 20% do lote), esmoados (em uma única quina e em até 20% do lote até o limite de 30% da espessura, 10% da largura e cumulativamente 50% do comprimento total da peça).

A quarta classe não admite peças que contenham quaisquer dos seguintes defeitos: colapso, fissuras de compressão, furos de insetos e galerias e medula. A quarta classe admite os seguintes defeitos: bolsas de goma e veios de quino (até 25mm/m na pior face), arqueamento e encurvamento (até o limite de 15mm por metro de comprimento), esmoados (desde que não superior a 50% da espessura, 20% da largura e cumulativamente 50% do comprimento total da peça), madeira ardida ou podridão (máximo 15% da área da peça), nós cariados, nós soltos ou vazados de até 25mm de diâmetro na pior face e no máximo um por metro de comprimento da peça) e rachas (não superiores a 150mm/m por metro de comprimento da peça).

A quinta classe admite defeitos que ultrapassam os limites das classes imediatamente superiores, exceto aqueles que inviabilizam a utilização da peça de madeira.

Madeira ardida e podridão são permitidos até o limite de 20% da área da peça de madeira; esmoado é permitido, desde que não superior a 50% da espessura da peça e não superior a 30% da largura da peça e comprimento cumulativo não superior a 70% do comprimento da peça.

Segundo a NBR 14806/2002, o procedimento adotado tem por base a quantidade e a importância dos defeitos encontrados numa peça e suas dimensões. Cada classe de qualidade é definida de acordo com a pior peça de madeira que possa ser nela incluída e deve conter todas as peças que não possam ser incluídas na classe imediatamente superior.

Ainda segundo a NBR 14806 (2002), o procedimento a seguir é:

- a) examinar visualmente cada face da peça de madeira, considerando aqueles defeitos que não são permitidos nas três primeiras classes de qualidade, a fim de decidir quanto à inclusão na última classe;
- b) determinar a pior face da peça;
- c) medir e quantificar os defeitos que ocorrem na pior face.

O Quadro 2 apresenta um sumário das especificações das classes de qualidade segundo a NBR 14806 (2002).

Carreira (2003), em importante trabalho, sugere critérios para classificação visual de peças estruturais de *Pinus* sp. no Brasil. O trabalho, desenvolvido a partir dos critérios estabelecidos e aplicados pelo SPIB – *Southern Pine Inspection Bureau*, americano, atestou a efetividade dos critérios americanos na classificação visual de madeiras brasileiras. Por essa razão, esses critérios serão possivelmente incorporados, na forma de um anexo, ao texto normativo brasileiro (NBR 7190) que se encontra em processo de revisão e complementação.

Segundo Oliveira (2005), a qualidade da madeira é analisada pela dimensão e distribuição de anomalias que podem ser vistas na superfície da peça, tendo como desvantagens o fato de considerar apenas os defeitos aparentes e admitir resistência igual para as peças com os mesmos defeitos.

Pela descrição das normas existentes pode-se, por fim, observar a complexidade e a variação existente na classificação da madeira, por meio do método visual. Além disso, o tempo gasto e o custo operacional, despendidos na aplicação dessa classificação desestimulam engenheiros e construtores a utilizá-las.

Quadro 2 – Sumário das especificações das classes de qualidade – NBR 14806 (2002)

Defeitos permitidos		Classes de Qualidade				
		Primeira	Segunda	Terceira	Quarta	Quinta
Bolsa de goma e veios de “kino”		Não	Não	Não	Até o máximo de 25mm/m na pior face	Sim
Colapso		Não	Não	Não	Não	Sem limites
Empenamentos	Arqueamento	5mm/m (em até 10% lote)	10mm/m (em até 10% lote)	10mm/m (em até 20% lote)	15mm/m de comprimento	Sem limites
	Encanoamento	4% espessura nominal	4% espessura nominal	6% espessura nominal	8% espessura nominal	Sem limites
	Encurvamento	5mm/m (em até 10% lote)	10mm/m (em até 10% lote)	10mm/m (em até 20% lote)	15mm/m de comprimento	Sem limites
	Encurvamento complexo	Não	Não	Não	Sim	Sim
	Torcimento	Não	Não	Não	Sim	Sim
Esmoado	Espessura	20% (em até 10% lote)	20% (em até 10% lote)	30% (em até 20% lote)	50%	50%
	Largura	10% (em até 10% lote)	10% (em até 10% lote)	10% (em até 20% lote)	20%	30%
	Comprimento	20% (em até 10% lote)	20% (em até 10% lote)	50% (em até 20% lote)	50%	70%
Fendilhado		Não	Permitido, desde que com menos de 2mm de profundidade e com 10cm/m de comprimento	Permitido, desde que com menos de 2mm de profundidade e com 30cm/m de comprimento	Permitido, desde que com menos de 2mm de profundidade e com 50cm/m de comprimento	Sem limites
Fissuras de compressão		Não	Não	Não	Não	Sim
Furos de inseto		Não	Não	Não	Não	Sem limites
Madeira ardida ou podridão		Não	Não	Não	< 15% da área da peça	< 20% da área da peça
Medula		Não	Não	Não	Não	Sem limites
Nós	Firmes – coloração da madeira	Não	Até o máximo de 25mm/m na pior face	Sim	Sim	Sim
	Cariados	Não	Não	Não	Até o máximo de 25mm/m na pior face	Sim
	Soltos ou vazados	Não	Não	Não	Até o máximo de 25mm/m na pior face	Sim
Rachas nas extremidades	Soma dos comprimentos	< 25mm/m (em até 10% lote)	< 50mm/m	< 100mm/m	< 150mm/m	Sem limites

Fonte: ABNT (2002)

4.4.2 Classificação mecânica

Furiatti (1981), pesquisando métodos de classificação visual e mecânica em peças de Peroba Rosa (*Aspidosperma* sp.) com dimensões de 6cm x 12cm x 6m, determinou uma correlação entre o módulo de elasticidade avaliado a partir de ensaios idealizados por ele em campo e o módulo de elasticidade avaliado em laboratório. Estabeleceu ainda, classes de resistência baseadas no módulo de elasticidade avaliado pelo ensaio em campo.

Melo (1984), testando 35 vigas de 5cmx10cmx300cm de 6 espécies nativas em uma máquina de classificação e em uma máquina universal de ensaio, estabeleceu classes de resistência baseadas em intervalos de módulos de elasticidade, conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Classes de resistência para seis espécies de dicotiledôneas: Andiroba (*Carapa guianensis*), Copaíba (*Copaifera multijuga*), Mururé (*Clarisia racemosa*), Pau-Jacaré (*Piptadenia gonocantha*), Tachi Preto Folha Grande (*Scledrolobium* sp.) e Tauari (*Couratari stellata*).

Classes	Resistência (N/cm ²) *	Módulo de Elasticidade (x10 ³ N/cm ²)
A	3150	1840 – 2100
B	2500	1615 – 1840
C	2000	1445 – 1615
D	1600	1300 – 1445
E	1250	1180 – 1300
F	1000	1090 – 1180
G	800	1025 – 1090
H	630	950 – 1025

Nota: (*) Tensões admissíveis

Fonte: Melo (1984)

Okimoto et al. (1995) elaboraram um manual de classificação visual e um ensaio de obra para classificação mecânica de peças estruturais de madeira de algumas espécies comerciais. Com relação à classificação visual, relacionaram as características visíveis de redução de resistência com um critério de rejeição, não sendo estabelecidas relações com as resistências das mesmas. Já para a classificação mecânica, determinaram os valores máximos de deslocamentos verticais para várias seções transversais, a partir de um valor mínimo do módulo de elasticidade estabelecido para cada espécie.

A NBR 7190/1997 introduziu o conceito de classes de resistência da madeira, objetivando o emprego de madeiras com propriedades padronizadas e a orientação do material (madeira) para elaboração de projetos estruturais. Para o caso específico das dicotiledôneas (folhosas) preconiza o enquadramento de peças de madeira em classes de resistência especificadas no Quadro 4.

Segundo o código normativo, a classe de resistência é atribuída a um lote de madeira considerado, com volume não superior a 12 m³.

Quadro 4 – Classes de resistência das dicotiledôneas na condição padrão de referência a 12% de umidade.

Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{co,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

Fonte: ABNT (1997)

Em seu item 10.6.d) a NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece que o enquadramento do lote em classes de resistência deve ser feito por meio da caracterização mínima de resistência de uma amostra (item 6.3.2), para espécies pouco conhecidas, ou por meio da caracterização simplificada de resistência de uma amostra (item 6.3.3), para espécies usuais. Nos dois casos, considerando-se o lote homogêneo (o código normativo não indica um método para avaliação da homogeneidade do lote), a amostra, representativa de um lote de até 12 m³, deverá ser composta de, no mínimo, seis exemplares, no caso de caracterização simplificada e de 12 exemplares, no caso de caracterização mínima. O código normativo especifica, ainda, o cálculo do valor característico, apresentando um estimador matemático.

Conforme já comentado, adicionalmente ao enquadramento do lote considerado em classes de resistência – **classificação mecânica**, afeta à aptidão estrutural do material – a norma brasileira NBR 7190/97 preconiza, ainda, a classificação das peças de madeira quanto à categoria – 1ª. categoria e 2ª. categoria - associadas à qualidade (presença de

defeitos) e homogeneidade das peças de madeira do lote. De acordo com o item 10.6 a) do referido código:

as peças de madeira poderão ser classificadas como de primeira categoria somente se forem classificadas como isentas de defeito por meio de **método visual normalizado**, e também submetidas a uma classificação mecânica para enquadramento nas classes de resistência especificadas em 6.3.5. Não se permite classificar as madeiras como de primeira categoria apenas por método visual de classificação; (ABNT, 1997, p.40, grifo nosso).

Complementarmente, o código normativo estabelece, em seu item 6.4.4 o que se segue:

A condição de madeira de primeira categoria somente pode ser admitida se todas as peças estruturais forem classificadas como isentas de defeito, por meio de método visual normalizado, e também submetidas a uma **classificação mecânica que garanta a homogeneidade da rigidez das peças que compõem o lote de madeira a ser empregado**. (ABNT, 1997, p.17, grifo nosso).

A partir desses dois quesitos – classificação mecânica e classificação visual - é estabelecida a resistência de cálculo da madeira do lote considerado, na seguinte conformidade:

$$f_{c0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} \quad \text{sendo:} \quad (1)$$

$f_{c0,d}$ - resistência à compressão paralela às fibras – valor de projeto;

k_{mod} - coeficiente de modificação

$f_{c0,k}$ - resistência à compressão paralela às fibras - valor característico;

γ_w - coeficiente de minoração das propriedades da madeira. A NBR 7190 adota o valor de 1,4 para a compressão paralela às fibras.

Nas situações de verificação dos estados limites últimos ou de utilização em que aparecem os parâmetros de rigidez da madeira, o módulo de elasticidade longitudinal deve ser usado com o seu valor efetivo, calculado por:

$$E_{c0,ef} = k_{mod} \times E_{c0,m} \quad \text{sendo:} \quad (2)$$

$E_{c0,ef}$ - módulo de elasticidade efetivo à compressão paralela às fibras

$E_{c0,m}$ - módulo de elasticidade médio à compressão paralela às fibras

Fusco (1992), já em 1992 antecipava a necessidade de introdução de coeficientes de modificação K_{mod} , para considerar as influências que não são levadas em conta pelos coeficientes de minoração (γ_w).

De acordo com a NBR 7190 (1997), o coeficiente de modificação (k_{mod}) afeta os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida, e do eventual emprego de madeira de segunda categoria.

O coeficiente de modificação K_{mod} é formado pelo seguinte produto:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \quad (3)$$

O coeficiente parcial de modificação $k_{mod,1}$, leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado. O coeficiente de modificação $k_{mod,2}$ contabiliza a classe de umidade e o tipo de material empregado.

O coeficiente de modificação $k_{mod,3}$, leva em conta se a madeira é de primeira ou segunda categoria. No caso de madeira de segunda categoria, admite-se $k_{mod,3} = 0,8$, e no caso de primeira categoria, $k_{mod,3} = 1,0$.

Com a classificação da madeira seria possível majorar o coeficiente $K_{mod,3}$, resultando em um ganho imediato de 25% na resistência (CARREIRA, 2003). Contudo, haveria a necessidade de aplicar um **método visual normalizado e classificação mecânica que garantisse a homogeneidade da rigidez das peças que compõem o lote de madeira a ser empregado**, conforme já apresentado nas transcrições do texto normativo. Como são relativamente trabalhosos e onerosos, os processos de classificação visual de peças estruturais de madeira não são adotados sistematicamente no mercado madeireiro, e toda madeira serrada tem sido utilizada, para fins estruturais, como sendo de segunda categoria.

Miotto (2003) fez uma comparação teórica entre a NBR 7190 e outros documentos normativos (australiano, americano, canadense e da comunidade econômica européia) e apesar do coeficiente de modificação não ser o escopo principal do trabalho, sugere a necessidade de atualização dos coeficientes de modificação na NBR 7190, incorporando fatores como: efeito da temperatura, de tratamentos preservativos e retardantes da ação do fogo, de dimensões, de forma da seção transversal entre outros. Salienta, ainda, que as normas americanas são muito minuciosas neste aspecto do dimensionamento, permitindo assim que o projetista tenha um controle preciso das condições influentes nas propriedades mecânicas da madeira.

Pigozzo et al. (2000) visando definir o vão livre mais adequado para os ensaios não-destrutivos em peças de dimensões estruturais de madeira de Envira (*Sterculia* sp.) realizaram testes de flexão estática em doze vigas de seção transversal 6 cm x 12 cm com carregamento centrado no vão livre de 3,00 m, sendo 6 peças com comprimento de 4,00 m e seis peças com comprimento de 5,00 m, chegaram à conclusão de que para vigas isentas de defeitos visuais, pode-se determinar o módulo de elasticidade à flexão aplicando carregamentos nas posições de menor ou de maior inércia, uma vez que os resultados foram estatisticamente equivalentes ao nível de significância de 95%.

Mais recentemente, em alguns trabalhos tem-se estudado a possibilidade de incorporação dos ensaios não-destrutivos como ferramentas no processo de classificação mecânica das madeiras.

Bartholomeu (2001) avaliou a existência de correlação entre resultados obtidos com o ultra-som e com aqueles obtidos por métodos tradicionais de obtenção de valores de resistência e rigidez em peças de madeira de dimensões normatizadas e estruturais. O mesmo autor, após ter verificado a correlação, propôs um método de classificação de peças estruturais de madeira, através da velocidade de propagação de ondas longitudinais. Para tanto, realizou ensaios estáticos de compressão paralela às fibras em corpos-de-prova; ensaios à flexão estática em vigas de dimensões estruturais de dimensões 0,06 x 0,12 x 2,00 m, além de ensaios utilizando equipamento de ultra-som. Três espécies foram utilizadas no trabalho: Cupiúba (*Goupia glabra*) e Eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) e *Pinus elliottii* (*Pinus elliottii*). Os corpos-de-prova e as vigas de dimensões estruturais foram ensaiados em duas

condições de umidade: saturada e em equilíbrio ao ar. O Quadro 5 mostra as classes de rigidez e faixas de velocidades propostas pelo autor para o Eucalipto citriodora.

Quadro 5 – Classes de rigidez de peças estruturais da madeira de Eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) utilizando a velocidade de propagação da onda de ultra-som na condição saturada e em equilíbrio ao ar.

Classes	$E_{M,k}$ (kN/cm ²)		Faixa de velocidades (m/s)	
	Madeira em equilíbrio	Madeira saturada	Madeira em equilíbrio	
10000	1000		$3900 \leq V_{vsat} \leq 4150$	$4360 \leq V_{vse} \leq 4590$
12500	1250		$4150 < V_{vsat} \leq 4350$	$4590 < V_{vse} \leq 4820$
15000	1500		$4350 < V_{vsat} \leq 4510$	$4820 < V_{vse} \leq 5050$
17500	1750		$V_{vsat} > 4510$	$V_{vse} > 5050$

Fonte: Bartholomeu (2001)

Bartholomeu e Gonçalves (2006) propuseram uma tabela de classificação para madeira de dicotiledôneas por meio da velocidade de propagação longitudinal das ondas de ultra-som na condição saturada. Os autores concluíram que a classificação de peças estruturais de madeira de dicotiledônea utilizando o método e as faixas propostas apresenta erro, em termos de segurança, da ordem de 5%, resultado esse que permite concluir que a classificação por tal método é viável.

Os resultados do trabalho foram discutidos no âmbito da Comissão de Estudos CE 58:000.10 ABNT/NOS-58, e estão apresentados, na forma de projeto de norma (ABNT, 2007). No Quadro 6 são apresentadas as classes definidas.

Quadro 6 – Faixas de classificação por ultra-som da madeira de dicotiledônea

Classe	V_{vsat} (m/s)	E_M 12% (MPa)	f_{c0,k} 12% (MPa)	E_{c0,m} 12% (MPa)
UD - 20	V _{vsat} < 3040	E _M < 6750	20	8000
UD - 25	3040 – 3690	6750 – 8500 - 10420	25	12000
UD - 30	3690 – 3950	10420 – 11720 - 13020	30	14000
UD - 35	3950 – 4140	13020 – 13970 - 14920	35	15000
UD - 40	4140 – 4300	14920 – 15720 - 16520	40	16500
UD - 45	4300 – 4390	16520 – 16970 - 17420	45	18500
UD - 50	4390 – 4490	17420 – 17920 - 18420	50	19500
UD - 55	4490 – 4600	18420 – 18770 - 19120	55	20500
UD* - 60	V _{vsat} > 4600	E _M > 19120	60	21200

UD* - Ultra-som na dicotiledônea

Fonte: ABNT (2007)

4.5 Métodos de avaliação não-destrutiva da madeira

As hipóteses fundamentais para ensaios não-destrutivos em madeira foram estabelecidas por Jayne (1959). Em seu trabalho, ele propôs que as propriedades de conservação e dissipação de energia da madeira, que podem ser mensuradas por métodos não-destrutivos, são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento estático estrutural do material. Conseqüentemente, podem ser estabelecidas relações matemáticas entre essas propriedades (conservação e dissipação de energia) e a resistência e elasticidade da madeira.

Os principais métodos não-destrutivos estudados pelo CEVEMAD – Centro Virtual de Pesquisas em Madeiras da FCA - Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP – Botucatu são as avaliações de dureza (com uso de máquinas de ensaio e de equipamentos portáteis), o método das ondas de tensão, o método do ultra-som e o método da vibração transversal.

As avaliações não-destrutivas de dureza na madeira, pela própria natureza do ensaio, mostram-se potenciais para situações em que são necessárias inferências da qualidade do material, restritas a uma região dos elementos estruturais, como é o caso dos dormentes ferroviários. Os trabalhos desenvolvidos pelo Centro Virtual (BALLARIN, 1996; 1998; 1999; COLENCI, 2002. 2006) levaram ao desenvolvimento e calibração de um durômetro portátil para madeiras. O equipamento piloto, já calibrado em sua versão mais simples, terá agora incorporada instrumentação digital, na tentativa de automatizar as leituras de endentações por ele promovidas na madeira.

Para os demais métodos é apresentado um breve histórico da evolução nacional, com ênfase para os trabalhos desenvolvidos pelo Centro Virtual.

4.5.1 Método das ondas de tensão

No método da propagação das ondas de tensão (*stress wave method*) a velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados.

Para embasamento desse método pode-se fazer uso da teoria de propagação de ondas unidirecionais em uma barra homogênea e elástica.

Kaiserlik e Pellerin (1977) e Ross (1985), examinando o comportamento da onda em corpos-de-prova isentos de defeitos, extraídos de compósitos à base de madeira, observaram a boa performance da teoria unidirecional proposta por Hearmon.

Estudos desenvolvidos por Gerhards (1981, 1982), revelaram que a presença de nós ou grã inclinada na madeira alteram a frente de propagação da onda. A alteração foi constatada ao se acompanhar a velocidade de propagação das mesmas, nas proximidades dessas irregularidades, concluindo que, nestes casos, a onda de tensão não mantém uma frente plana de propagação.

Ross e Pellerin (1994) empregaram o método de propagação de ondas de tensão visando detectar, indiretamente, a presença de organismos xilófagos na madeira. Para algumas das espécies ensaiadas os autores obtiveram resultados bastante promissores, com a identificação de organismos xilófagos presentes na madeira em 93% dos casos em que elas efetivamente existiam.

O trabalho de Gabriel e Ballarin (2000) detalha o equacionamento geral do fenômeno de propagação de ondas unidirecionais na madeira e apresenta correlações entre os resultados desses ensaios não-destrutivos e os ensaios destrutivos convencionais de flexão. Resumidamente, o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) é igual ao produto da densidade do material (aparente ou, eventualmente, básica) pelo quadrado da velocidade de propagação da onda no material.

Rocha (2003) estudou a viabilidade de emprego de ensaios não-destrutivos (ondas de tensão e ultra-som) na caracterização elástica e da resistência de algumas amostras de madeiras para dormentes. Concluiu que os dois métodos apresentaram sensibilidade para as duas finalidades, com leve superioridade nos coeficientes de determinação das regressões lineares (velocidade das ondas – módulo de elasticidade de corpos-de-prova) dos ensaios pelo método das ondas de tensão. Por outro lado, o método das ondas de ultra-som mostrou-se mais prático e vantajoso para operação em condições de campo.

Hellmeister (2003) estimou a correlação existente entre o módulo de elasticidade da tora originária e os módulos de elasticidade (à compressão paralela e flexão) determinados em corpos-de-prova representativos das pranchas e tábuas originadas do desdobro da tora.

O autor apresenta uma extensa revisão bibliográfica dos trabalhos internacionais, com sumário das pesquisas da correlação entre o módulo de elasticidade obtido em função da velocidade de propagação das ondas de tensão e em ensaios estáticos convencionais. Dá ênfase especial aos trabalhos mais recentes de Wang et al. (2000, 2001, 2002). Concluiu, em seu trabalho, que o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) obtido pelo ensaio não-destrutivo das ondas de tensão em toras apresenta correlação linear (R^2 variando de 0,53 a 0,60) com o módulo de elasticidade dos corpos-de-prova representativos dessa madeira. Evidenciou, ainda, a diferenciação estatística das velocidades de propagação das ondas de tensão nos lenhos adulto (velocidade superior), juvenil (velocidade intermediária) e na medula (velocidade inferior), com espectro máximo de variação de 10,4%.

4.5.2 Ultra-som

Os aspectos aqui tratados são uma compilação dos diversos capítulos de Bucur (1995) e outros pesquisadores da área da acústica da madeira feita por Nogueira (2003).

As ondas acústicas de frequência superior a 20.000 Hz são convencionalmente chamadas de ondas de ultra-som. O método ultrassonoro se apóia na análise de propagação de uma onda e sua relação com as constantes elásticas da madeira. Em geral, o método consiste em criar no interior de um corpo-de-prova uma ou várias ondas elásticas com ajuda de um sonda “piezo elétrica”. As ondas se propagam com velocidades que dependem da direção de propagação e das constantes elásticas do material. A tomada da velocidade de propagação da onda permite estimar as constantes elásticas do material.

Considerando que a madeira possui três eixos de simetria elástica ortogonais entre si (longitudinal, radial e transversal) é considerada simplificada como um material ortotrópico linear.

Nos sólidos ortotrópicos as constantes elásticas são influenciadas mutuamente pelos três planos de simetria, tornando a análise mais complexa. A matriz de rigidez para estes materiais é simétrica e contém nove constantes independentes: seis termos diagonais (C_{11} , C_{22} , C_{33} , C_{44} , C_{55} e C_{66}) e três termos não-diagonais (C_{12} , C_{13} e C_{23}).

A determinação destes termos pode ser realizada por meio da propagação de ondas de volume nos materiais. A teoria que envolve a determinação das equações que correlacionam a propagação da onda aos termos da matriz de rigidez, expressa na equação de Christoffel, foi apresentada por Dieulesaint e Royer (1974), entre outros.

A forma geral para a determinação dos seis termos da diagonal da matriz de rigidez é:

$$C_{ii} = V_{ii}^2 \rho \quad , \text{ sendo:} \quad (4)$$

$$i = 1,2,3,\dots,6$$

V = velocidade de propagação da onda no material, na direção ii

ρ = densidade do material

Para o cálculo dos termos não-diagonais da matriz de rigidez, a propagação da onda deve se dar fora dos eixos principais de simetria. O cálculo dos termos não-diagonais requer, portanto, valores de velocidade obtidos para as ondas quase longitudinais e quase transversais.

Para todos os tipos de materiais é possível correlacionar os termos da matriz de rigidez com os módulos de elasticidade longitudinal (E) e transversal (G) e com os coeficientes de Poisson (ν). Por outro lado, os módulos de elasticidade e os coeficientes de Poisson podem ser relacionados à velocidade de propagação da onda no material. A complexidade das expressões que correlacionam estes parâmetros depende dos aspectos de simetria dos materiais.

Segundo Bucur (1995), em peças com comprimento longitudinal muitas vezes superior às dimensões de sua seção transversal, negligencia-se os efeitos dos coeficientes de Poisson (ν), chegando-se a:

$$C_{LL} \approx E_L \quad (5)$$

Em muitas situações o módulo de elasticidade assim obtido é referido como E_d — módulo de elasticidade dinâmico, em contraposição ao módulo de elasticidade obtido em ensaios convencionais de flexão (EM).

Conforme apresentado por Rocha (2003), vários pesquisadores, como Waubke (1981), Bucur (1984), Sandoz (1990), Herzing (1992), Steiger (1996), Koubaa et al. (1997), Hernandez et al. (1998), Bartholomeu et al. (1998), Gonçalves & Bartholomeu (2000), Bartholomeu (2001) e Nogueira & Ballarin (2002, 2003) comprovaram a eficiência do método do ultra-som para determinar as constantes elásticas da madeira.

Bartholomeu et.al (1998) estudaram as correlações entre os módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos à compressão paralela às fibras em corpos-de-prova das madeiras de Angico preto (*Anadenanthera macrocarpa*), Peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*) e Pinus elliotii (*Pinus elliotii*) na condição de equilíbrio ao ar, utilizando um equipamento de ultra-som de 1 MHz de frequência.

Gonçalves e Bartholomeu (2000) estudaram as correlações entre os módulos de elasticidade dinâmicos e à flexão estática por 4 pontos em vigas de dimensões estruturais na condição saturada de Eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) e Pinus elliottii (*Pinus elliottii*), com uso de um equipamento de ultra-som com transdutores de 45Hz.

Os resultados obtidos por Nogueira e Ballarin (2003) mostraram a sensibilidade do método na avaliação do módulo de elasticidade estático da madeira de *P. taeda* L. nos eixos de simetria longitudinal (coeficiente de determinação das regressões lineares - $R^2 \approx 97\%$) e radial ($R^2 \approx 82\%$) da madeira. Na direção tangencial, o coeficiente de determinação da regressão linear foi relativamente inferior ($R^2 \approx 42\%$), não indicando sensibilidade do método do ultra-som na avaliação do módulo de elasticidade estático nessa direção.

A utilização do ultra-som na avaliação de defeitos da madeira, utilizando equipamentos portáteis, pode ter grande aplicação prática do ponto de vista industrial (BUCUR, 1995). Exemplos dessas aplicações apresentadas pela autora: detecção da inclinação das fibras em árvores, detecção de ataques biológicos, avaliação de chapas de fibras, etc.

Bucur (1988) demonstrou que a técnica do ultra-som pode ser utilizada para mapear uma peça, indicando, por meio da constante dinâmica, a localização, tamanho e natureza de nós.

A detecção dos nós através de ensaios não-destrutivos utilizando o ultra-som se torna confiável, ou seja, é possível detectar variações na inclinação das fibras, quando a proporção da seção transversal ocupada pelo nó (Knot Área Ratio), é superior a 20% (MACHADO, 2000).

A velocidade ultra-sônica é um bom parâmetro para avaliar a degradação biológica da madeira no seu estágio moderado. Uma diminuição de 50% na velocidade indica um decréscimo de 60% no módulo de elasticidade. A atenuação detecta a degradação ainda no seu estágio inicial, sendo que uma diminuição entre 20% e 50% na energia recebida, é indicativo de que haja degradação (ROSS et al. 2000).

Puccini (2002), comparando a influência da presença de nós na velocidade de propagação das ondas de ultra-som em *Pinus taeda*, obteve uma velocidade de

propagação 17% inferior quando comparada à madeira sã. O mesmo autor, em análise semelhante para a presença de medula, obteve uma redução de 13 % nos valores médios da velocidade de propagação em relação à madeira isenta de defeitos.

Conforme comentado por Rocha (2003), Waubke (1981), Sandoz (1990) e Steiger (1996) apresentaram proposta de classificação de peças estruturais de madeira utilizando o ultra-som. Essa classificação é baseada, principalmente, em correlações existentes entre a velocidade de propagação da onda de ultra-som na madeira e parâmetros de resistência e rigidez do material. Posteriormente, através dessas correlações os autores propuseram faixas de velocidades, relacionadas às classes que representam diferentes expectativas de resistência e elasticidade da madeira.

Sandoz (1989) apresentou trabalho no qual analisou resultados provenientes de três tipos de avaliações: ensaios mecânicos destrutivos de flexão estática, análise visual e determinação da velocidade de propagação de ondas de ultra-som. Para isso, ensaiou 341 vigas de diversas bitolas da espécie Spruce (*Picea* sp), com teores de umidade de 14% e 22%. Com os resultados, determinou correlações entre os três tipos de ensaios. Utilizando correlações o autor propôs um método de classificação que sugere, como parâmetro, a velocidade de propagação do ultra-som nas peças estruturais, relacionando-a com as classes determinadas na Norma Suíça (SAI). Com os resultados de suas pesquisas, projetou e patenteou um equipamento de ultra-som portátil, denominado Sylvatest, para ensaios in-loco de peças estruturais de madeira. Esse equipamento, além de determinar a velocidade da propagação das ondas ultra-sonoras fornece também o teor de umidade da peça. O teor de umidade é utilizado para corrigir a velocidade de propagação da onda a qual, por sua vez, é correlacionada com o módulo de ruptura à flexão, originalmente referida a um teor de umidade de 12%. Esses resultados permitiram ao autor a proposição de três classes, estabelecidas em concordância com normas de avaliação visual e velocidades de propagação de ondas de ultra-som. Correspondentes a essas classes estabeleceu três intervalos de velocidade: para a primeira classe, $v = 5600$ m/s; para a segunda classe, 5230 m/s $< v < 5600$ m/s e para a terceira classe, $v = 5230$ m/s.

O autor observou, ainda, que o defeito que apresentou maior influência na velocidade de propagação das ondas de ultra-som foi a soma dos diâmetros dos nós, e concluiu que essa técnica é uma ferramenta poderosa para a classificação de peças de madeira

na indústria, onde peças de tamanho estrutural são avaliadas. Finalizou seu artigo enfatizando que, no futuro, essa prática deverá substituir a atual técnica visual.

Oliveira (2001) estudou as correlações entre os módulos de elasticidade dinâmico e estáticos à compressão paralela e à flexão, além das correlações entre os módulos de elasticidade dinâmicos, tensões de ruptura e resistência à compressão paralela em corpos-de-prova e em vigas de dimensões estruturais nas madeiras de Cupiúba (*Goupia glabra*), Eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e Eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) a um teor de umidade de 12%. Para os ensaios, utilizou um equipamento de ultra-som com frequência de 45 Hz.

Mais recentemente, conforme já comentado, Bartholomeu e Gonçalves (2006) propuseram uma tabela de classificação para madeira de dicotiledôneas, que está apresentada no âmbito da Comissão de Estudos CE 58:000.10 ABNT/NOS-58 (Quadro 5).

4.5.3 Vibração transversal

Comumente referido com “*resonance method*” na bibliografia internacional, o método de vibração transversal tem-se destacado entre os empregados em testes não-destrutivos, sobretudo pela grande aderência entre o modelo físico do fenômeno e o correspondente modelo matemático teórico (CALIL JÚNIOR e MINÁ, 2003).

No geral, analisa-se a vibração transversal de barras monitorando-se sua frequência de ressonância principal (1ª harmônica) de acordo com a equação:

$$E = E_d = \frac{f_1^2 * W * L^3}{2,46 * I * g} \quad \text{sendo:} \quad (6)$$

E_d - módulo de elasticidade dinâmico (o índice “d” diferencia esse módulo daquele obtido através de ensaios convencionais estáticos);

f_1 - frequência de vibração (Hz)

W - peso da peça (N);

L - comprimento da viga (m);

I - momento de inércia (m⁴);

g - aceleração da gravidade(m/s²).

Essa expressão simplificada tem sido utilizada pela grande maioria dos pesquisadores que empregam o método da ressonância (vibração transversal). Refinamentos teóricos à formulação básica foram propostos por Perstorper (1993), contabilizando-se as deformações por cisalhamento e torção e pelo CIRAD (1998). Pelas experiências nacionais no uso do método da ressonância, nota-se que as melhorias advindas do equacionamento mais refinado não são significativas para relações vão-altura da peça maiores que 21.

Com a equação (6), pode-se empregar o método da ressonância para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico de pequenas peças, em escala laboratorial, como também de peças de dimensões comerciais e roliças ou serradas (CALIL JÚNIOR e MINÁ, 2003).

Atualmente, o teste de vibração transversal é considerado uma técnica que apresenta valores confiáveis para o módulo de elasticidade e que pode ser usado em qualquer tipo de madeira, com qualquer seção transversal e, também, em madeira laminada colada ou, ainda, em painéis de madeira (MURPHY, 2000). Também está sendo considerada pela American Society of Testing and Materials (ASTM) uma proposta para o cálculo da rigidez da madeira na flexão, usando-se um teste de vibração transversal em viga simplesmente apoiada. Esta é uma importante indicação da valorização atual do uso da vibração transversal para determinação do módulo de elasticidade da madeira.

Calil Júnior e Miná (2003) ensaiaram 326 peças com dimensões estruturais da madeira de *Southern pine*, com a finalidade de se avaliar o grau de relacionamento entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático de peças estruturais de madeira. Observaram que o coeficiente de correlação linear obtido entre os módulos de elasticidade dinâmico e o estático foi de 0,98, ou seja, existe uma forte correlação linear entre as duas grandezas. Concluíram que o método da vibração transversal para a determinação do módulo de elasticidade e classificação de peças estruturais é bastante eficiente.

O CEVEMAD – Centro Virtual de Pesquisas em Madeiras da FCA – Faculdade de Ciências Agrônômicas – também tem utilizado o método da vibração transversal em suas pesquisas – os principais resultados ainda não foram publicados - encontrando grande associação linear entre o módulo de elasticidade dinâmico por ele indicado e o módulo de elasticidade à flexão, obtido com ensaios mecânicos.

4.6 Compilação da revisão bibliográfica realizada

As experiências internacionais com a classificação estrutural da madeira serrada têm mostrado a importância da avaliação visual na qualificação das peças, tendo sido largamente utilizada pela Comunidade Européia e Norte-Americana. Pode eventualmente ser empregada como único método de classificação de lotes de madeira, sendo a classificação mecânica uma ferramenta auxiliar. A literatura internacional especializada apresenta muitos trabalhos correlacionando classificação visual e mecânica e desempenho mecânico da madeira.

Contudo, os métodos visuais, bastante utilizados no passado em normas de classificação, ainda que de grande utilidade, podem ser falhos e exigem a utilização de mão-de-obra relativamente bem treinada. Muitas vezes a presença de nós, rachaduras ou ainda regiões com medula no interior de uma peça serrada podem ser imperceptíveis na avaliação visual. A presença de madeira juvenil só pode ser identificada por um avaliador com grande experiência. O estudo de metodologia que incorpore técnicas modernas e precisas na avaliação da madeira terá importância vital para a aplicação futura do material no país.

Na literatura nacional poucos trabalhos têm contemplado a classificação de peças estruturais, seja ela visual ou mecânica. Porém, a NBR 7190/97 preconiza que as peças de madeira só poderão ser qualificadas como de primeira categoria se forem classificadas como isentas de defeito por meio de método visual normalizado e também submetida a uma classificação mecânica para enquadramento nas classes de resistência, que garanta a homogeneidade da rigidez das peças do lote de madeira.

A classificação da madeira, por ser um processo trabalhoso e oneroso, além de envolver mão-de-obra qualificada e treinada, não tem sido empregada no Brasil, acarretando uma minoração das peças de madeira para fins estruturais como de segunda categoria.

Verifica-se, também, que em sua maioria, os trabalhos que contabilizam a classificação estrutural das peças de madeira utilizam-se de métodos de avaliação não-destrutiva como o ultra-som, ondas de tensão e vibração transversal, tendo conseguido avanços importantes na caracterização da madeira.

A revisão bibliográfica confirmou a influência dos defeitos intrínsecos, de processamento e de secagem no desempenho mecânico da madeira.

Considerando-se, por fim, o nicho tecnológico existente para a utilização de madeira serrada de eucalipto de qualidade, revela-se a importância de estudo dessa natureza, que possa contribuir na avaliação da sensibilidade dos ensaios não-destrutivos na avaliação de alguns defeitos potenciais e possam ser utilizados como ferramenta alternativa e/ou complementar no processo de classificação mecânica e visual da madeira, ampliando a fronteira de conhecimento sobre a madeira nacional.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

As madeiras empregadas no programa experimental proposto foram obtidas a partir de material genético disponibilizado pela empresa Plantar S.A. Reflorestamentos S.A., localizada na cidade de Curvelo – MG (18°45'40" de latitude (S) e 44°25'46" de longitude (W), a 633 m de altitude). O Clima é Aw, segundo a classificação de Köppen, com temperatura mínima anual de 18° C e máxima de 22° C. A precipitação anual varia de 900 a 1300 mm.

Em 1998, as florestas da empresa Plantar foram certificadas segundo os princípios e critérios do *Forest Stewardship Council* - FSC, órgão internacional de certificação florestal.

Foram amostradas 10 árvores para cada um dos 10 clones selecionados, com 6,5 anos de idade. Como havia a disponibilidade da coleta de material de um destes clones com 11 anos de idade, optou-se por selecionar, adicionalmente, 10 indivíduos deste material. A Figura 2 ilustra uma visão geral de um dos talhões selecionados para amostragem das árvores.

Os indivíduos arbóreos foram selecionados fenotipicamente como os de fuste mais retilíneo, de boas condições fitossanitárias, evitando-se a escolha de árvores localizadas na bordadura dos experimentos. De cada árvore foram retiradas duas toras e de cada

tora foram retiradas o maior número possível de peças de seção transversal nominal de 6 cm x 12 cm com comprimento de 2,80 m, totalizando um universo de 296 peças (Figura 3).



Figura 2 - Vista geral (a) e detalhada (b) de um dos talhões selecionados para amostragem das árvores. A faixa sem casca das árvores foi usada na mensuração de parâmetros da árvore viva, antes do abate.



Figura 3 - Processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus* do programa experimental. a) marcação das dimensões longitudinais desejadas; b) e c) operação de destopo; d) aspecto final das peças.

5.2 Métodos

Buscando a classificação estrutural da madeira do gênero *Eucalyptus*, num primeiro momento, logo após o desdobro das vigas, com o material com umidade ainda acima do ponto de saturação das fibras, foi realizada a classificação visual e a caracterização mecânica não-destrutiva (vários métodos) de todas as vigas.

As vigas passaram por secagem natural ao ar livre, com empilhamento direto (sem separadores) em ambiente protegido de chuvas, mas não de insolação direta (no período da tarde dos dias) por um período de 7 meses, suficientes para que as vigas alcançassem umidade de equilíbrio ao ar, estimada (com uso de medidor portátil resistivo) em 13% a 15%.

Após a secagem natural, foram repetidos os procedimentos de classificação visual e de caracterização mecânica não-destrutiva.

As vigas foram, então, ensaiadas destrutivamente à flexão.

Posteriormente, de cada viga ensaiada à flexão, foi extraído um corpo-de-prova da região próxima ao apoio do ensaio de flexão, que foi ensaiado destrutivamente à compressão paralela às fibras. Os resultados da resistência à compressão paralela às fibras foram utilizados no estudo da associação entre grandezas dos ensaios não-destrutivos e dos ensaios destrutivos, bem como na classificação mecânica dos lotes de madeira (explicitados no item 5.3).

Todos os ensaios destrutivos foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP – Botucatu, com a madeira na umidade de equilíbrio ao ar.

5.2.1 Classificação visual das vigas

Todas as 296 vigas foram visualmente classificadas de acordo com o que preconiza a NBR 14806 (ABNT, 2002) complementados pela NBR 9487 (ABNT,1986). Assim, os defeitos (Figura 4) foram avaliados de acordo com a aparência, dimensões,

natureza, número e importância, comprimento dos elementos limpos, número de elementos limpos obtidos e rendimento de elementos limpos.

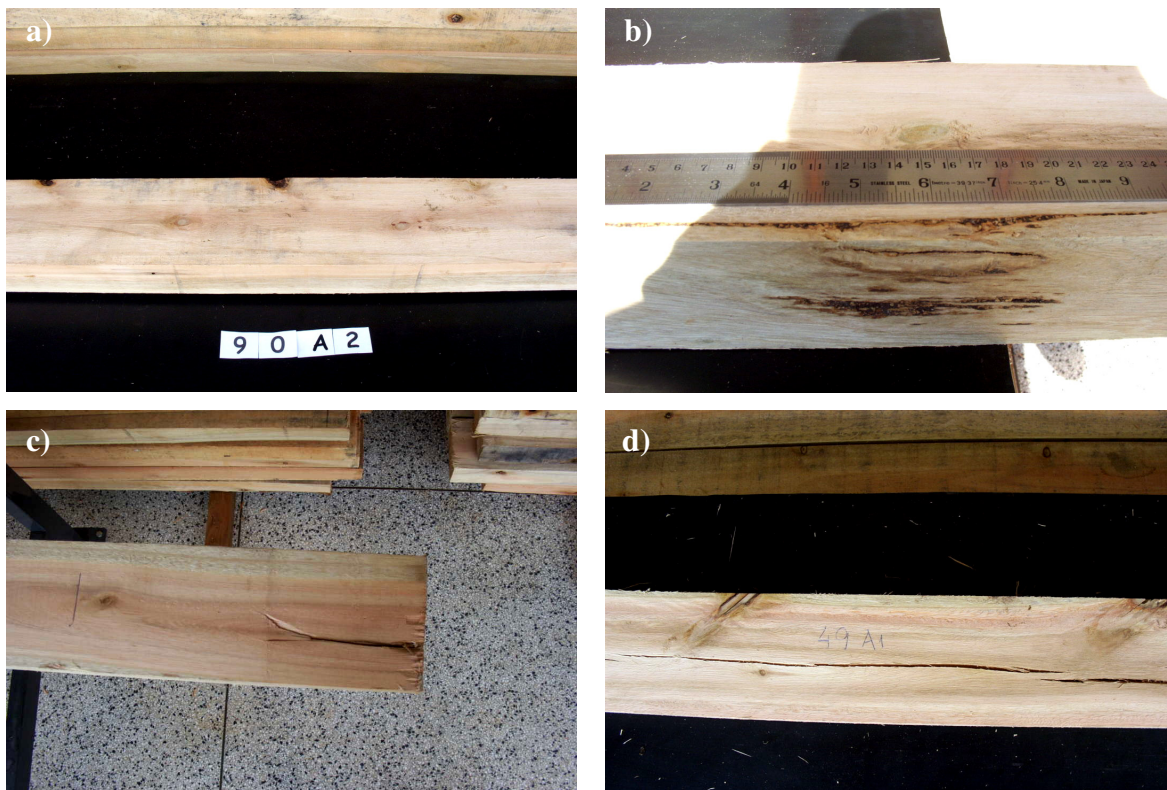


Figura 4 – Avaliação visual dos defeitos nos clones da madeira de *Eucalyptus*. a) presença de nós de canto; b) medição do esmoado; c) rachaduras de topo; d) rachaduras longitudinais e presença de nós.

Conforme já comentado, a classificação visual foi realizada em dois momentos distintos: na condição de madeira verde (com umidade acima do ponto de saturação das fibras) e após a secagem natural ao ar livre, que ocorreu em ambiente protegido das chuvas. Nesses dois momentos, a cada uma das vigas foi atribuída uma “classe visual”, dentre as previstas no código normativo utilizado.

5.2.2 Caracterização mecânica das vigas

A caracterização mecânica das vigas foi realizada com uso de ensaios não-destrutivos (na condição de madeira verde e, posteriormente, na condição de madeira na umidade de equilíbrio ao ar) e com uso de ensaio mecânico destrutivo de flexão estática.

Procurando abranger todos os métodos de ensaios não-destrutivos de maior potencialidade, foram utilizados os métodos das ondas de tensão, do ultra-som e da vibração transversal.

5.2.2.1 Método das ondas de tensão

O método das ondas de tensão foi empregado a partir da experiência acumulada no Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP com essa técnica. Os principais passos do método são descritos abaixo.

Nas duas condições de umidade, a onda de tensão foi induzida em uma das extremidades da viga, por impacto mecânico com uso de martelo instrumentado com acelerômetro.

A onda de tensão foi acompanhada pela medição de sua velocidade de propagação, com uso de um equipamento modelo 239A - *Stress wave timer*, da METRIGUARD. Acelerômetros – transdutores piezoelétricos - acusavam a partida e a chegada da onda na extremidade oposta (Figura 5). As ondas foram sempre induzidas na região central da seção transversal da peça serrada, a menos que, nos ensaios preliminares, se apresentasse algum indicativo contrário a essa prática.

No geral, para cada peça serrada foram feitas três repetições nas medições do tempo de propagação da onda (t_1 , t_2 e t_3). A velocidade de propagação da onda (v_{ot}) foi calculada com a distância de percurso da onda e o tempo médio (t_m). O módulo de elasticidade dinâmico (E_{d1}) foi avaliado pelo produto da densidade aparente do material pelo quadrado da velocidade de propagação da onda no material (GABRIEL e BALLARIN, 2000).



Figura 5 – Ensaio não-destrutivo de ondas de tensão nas vigas de *Eucalyptus*. Preparação do material a) Pré-furação; b) fixação dos parafusos; c) acelerômetro de chegada; d) execução do ensaio com o auxílio de um martelo instrumentado.

5.2.2.2 Método do ultra-som

O método das ondas de ultra-som foi empregado a partir da experiência acumulada no Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP com essa técnica. As principais etapas do método são descritas a seguir.

Nas duas condições de umidade das vigas, o equipamento gerador de ondas de ultra-som utilizado foi da marca *Steinkamp*, modelo BP-7, de fabricação alemã, e transdutores piezoelétricos planos de frequência 45kHz (Figura 6). A precisão do equipamento, segundo o fabricante, é de 0,001%. Isto significa que para as faixas de velocidades utilizadas neste trabalho (4.000m/s a 6.000m/s), a incerteza foi de aproximadamente 4 cm/s a 6 cm/s.

Foram utilizados dois transdutores equivalentes: um para emissão e outro para recepção das ondas ultrassônicas. Os transdutores foram acoplados (encostados) às extremidades das vigas com uso de gel medicinal como material acoplante.

O equipamento de ultra-som foi calibrado no início de cada série de ensaios, utilizando-se calibrador de acrílico fornecido pelo fabricante. Os ensaios foram realizados medindo-se o tempo de propagação da onda de ultra-som e calculando-se a velocidade de propagação em cada viga (vus). Para cada peça de madeira serrada foi feita uma repetição na medição do tempo de propagação da onda.

Após a realização dos ensaios, foi calculada a constante dinâmica CLL, utilizando-se a Equação 4.

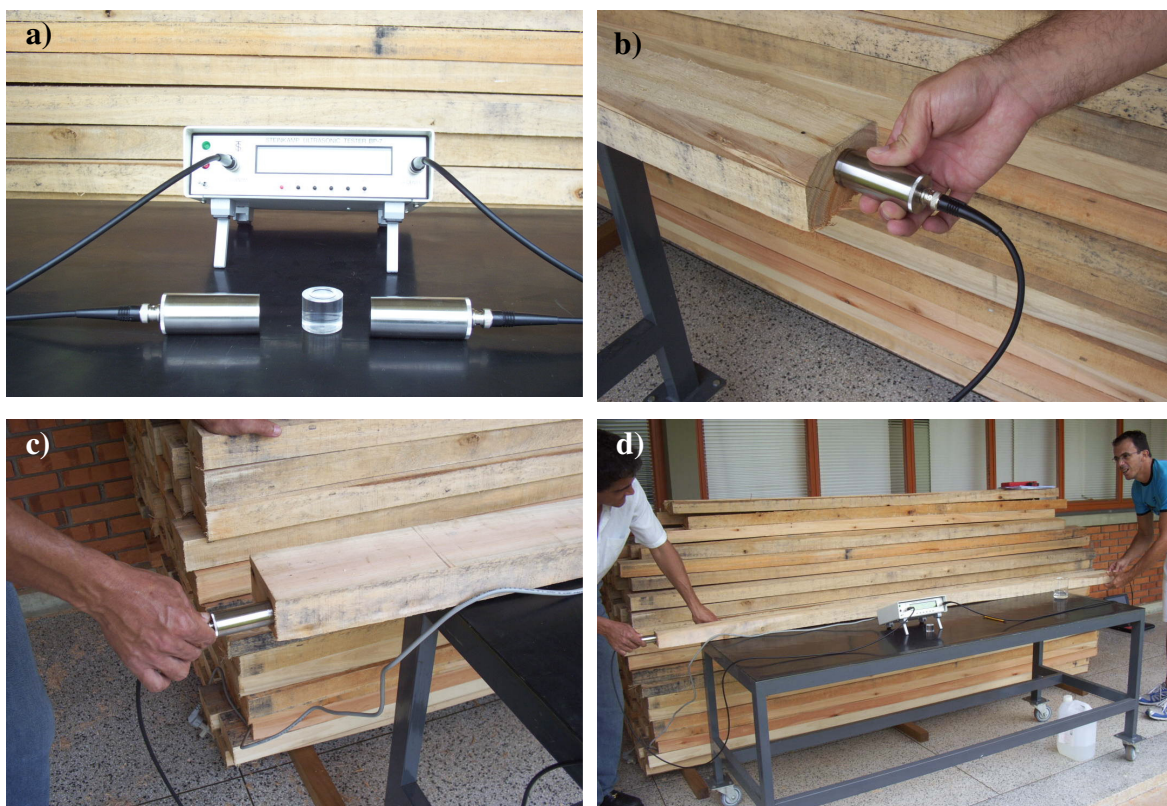


Figura 6 – Ensaio não-destrutivo utilizando ultra-som nas vigas de *Eucalyptus*. a) equipamento *Steinkamp* modelo BP-7 ; b) detalhe do transdutor de chegada; c) transdutor de partida; d) tomada do tempo de propagação da onda.

5.2.2.3 Método da vibração transversal

O método da vibração transversal foi empregado a partir da experiência acumulada no Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP com essa técnica. Os principais passos do método são descritos abaixo.

Nas duas condições de umidade das vigas, o equipamento utilizado para a análise e mensuração das frequências de vibração transversal (f) e cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (E_{d2} - Equação 6) foi o *Transverse vibration E. Computer – Model 340* da *Metriguard*. O ensaio de vibração transversal foi realizado em cada viga, sendo mensurados o peso da viga e a frequência natural de vibração.

Antes do teste foram medidas e anotadas as dimensões da seção transversal, bem como o comprimento das vigas. Utilizando-se do aparato de ensaio (Figura 7), a viga de madeira foi simplesmente apoiada, de um lado, em um suporte em forma de lâmina de faca e, do outro, em um suporte com célula de carga (Figura 7c), que avaliava o peso da viga (W). As vigas foram testadas com um vão livre de 2,70 m.

Antes do início dos trabalhos de avaliação, o equipamento foi calibrado utilizando-se uma barra de alumínio com módulo de elasticidade já conhecido, fornecida pelo fabricante.

Induziu-se a vibração da viga com um leve impacto manual, não-quantificado, nas proximidades do meio do vão. Com a viga vibrando, foi feita a aquisição do sinal, com avaliação da frequência de vibração e do peso da viga, a partir dos quais avaliou-se o módulo de elasticidade dinâmico.

5.2.2.4 Método da flexão estática

Como não há norma brasileira que preconize os procedimentos de ensaio de vigas de madeira de dimensões estruturais, adotaram-se neste trabalho os procedimentos preconizados pela ASTM D4761-96.

Os ensaios de flexão foram executados em um pórtico de ensaios com capacidade global de 10 tf, especialmente desenvolvido no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural - Faculdade de Ciências Agronômicas. O quadro

resistente do pórtico, com capacidade nominal de 30 tf, foi fabricado pela SKAY Máquinas e Equipamentos Hidráulicos Ltda.



Figura 7 – Ensaio não-destrutivo de vibração transversal na madeira de *Eucalyptus*. a) aparato modelo 340 da *Metriguard* ; b) ajuste do vão central ; c) detalhe da célula de carga; d) execução do ensaio através de um impacto na porção central da peça.

A instrumentação do pórtico constou de uma célula de carga com capacidade de 10tf, e medidor de deslocamento (transdutor indutivo) com fundo de escala de 150 mm e sensibilidade de centésimo de milímetro, ambos produzido pela MSI Micro Sensores Industrial Ltda. A instrumentação estava acoplada a um indicador digital modelo MSI 2030 da mesma empresa. A Figura 8 ilustra todo o sistema, composto por um quadro resistente, célula de carga e medidor de deslocamentos, vigas de reação e transição, roletes, contraventamentos – para confinar as vigas, evitando a perda de estabilidade lateral - e aparelhos de apoio.

Considerando-se que boa parte das vigas apresentava empenamentos (com várias intensidades e inerentes à espécie e à secagem ao ar livre da madeira), adotou-se um ciclo inicial de carregamento prévio (0% até 50% e, depois de 30 segundos, descarga até 10% da carga de ruptura estimada do lote), momento a partir do qual o ensaio era desenvolvido, de forma monotônica, até a ruptura. Este procedimento permitiu a correção ou diminuição do empenamento das vigas.



Figura 8 – Ensaio de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia. a) vista geral do equipamento; b) detalhe do rolete de transferência de carga; c) dispositivo de contato entre a viga e o apoio; d) contraventamento.

As vigas foram dispostas sobre dois apoios (Figura 8c) espaçados em 2,04 m (vão livre de ensaio) e foram aplicadas duas cargas concentradas nos limites do terço central desse vão, obtendo-se uma relação L/h (vão por altura da peça) de 17, dentro dos limites aceitáveis pela norma ASTM D4761-96 que estipula valores entre 17 e 21. O carregamento foi aplicado manualmente por meio de atuador hidráulico, com velocidade

aproximadamente constante de 10 MPa/min, o que conduzia à ruptura das vigas entre 10 min e 15 min.

O dispositivo de medição dos deslocamentos está apresentado em detalhes na Figura 9 a. Como se pode observar, ele foi projetado para indicar o diferencial de flecha entre o meio do vão livre e o limite do terço central da viga. Dessa forma, a flecha da viga foi contabilizada no terço médio da viga onde, pelo esquema estático e de carregamento adotados, não se tem a contribuição da força cortante; a flecha contabilizada permitiu o cálculo do módulo de elasticidade real, diferentemente do procedido na maioria dos ensaios de flexão estática, que contabilizam um módulo de elasticidade aparente (negligenciando o efeito da força cortante, que está presente).



Figura 9 – Ensaio de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia. a) aparato para medição da deformação na viga; b) aplicação da carga de carregamento; c) continuidade do ensaio após retirada do extensômetro; d) ruptura da peça.

Para a determinação do módulo de elasticidade foram registradas as deformações a 150 kgf e 750 kgf, correspondentes a 10% ($a_{10\%}$) e 50% ($a_{50\%}$) da carga estimada de ruptura do lote. Em seguida, mantendo-se a velocidade de carregamento do ensaio, levaram-se as vigas à ruptura, sendo anotados a carga máxima e o tipo de ruptura de acordo com as convenções da norma ASTM D4761-96 (Figura 10).

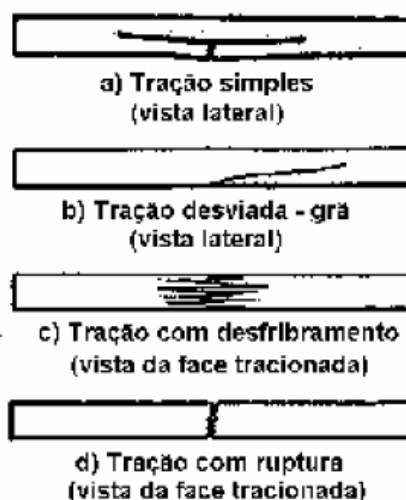


Figura 10 – Tipologia de rupturas no ensaio de flexão estática.

De acordo com o ilustrado na Figura 10, os tipos de ruptura mais comuns são ruptura abrupta (Figura 10d) ou com desfibramento (Figura 10c) – observáveis na face inferior da viga - e ruptura na forma de tração simples (Figura 10a) ou tração desviada – grã (Figura 10b) - observáveis por vista da face lateral do corpo-de-prova. Por essa metodologia, as letras (c) e (d) indicam, respectivamente, tração com desfibramento e tração com ruptura.

Considerando-se os esquemas estático e de carregamento, bem como a forma de avaliação das flechas das vigas (Figura 9a), o módulo de elasticidade (E_M) foi determinado através da equação 6:

$$E_M = \frac{(P_{50} - P_{10}) * l^3 * 12}{432 * (a_{50} - a_{10}) * b * h^3} \quad \text{sendo:} \quad (6)$$

E_M	- módulo de elasticidade à flexão;
P_{50}	- carga correspondente a 50% da carga de ruptura estimada do lote;
P_{10}	- carga correspondente a 10% da carga de ruptura estimada do lote;
l	- vão livre de ensaio;
a_{50}	- diferencial de flecha (entre meio e terço do vão) para carga P_{50} ;
a_{10}	- diferencial de flecha (entre meio e terço do vão) para carga P_{10} ;
b	- largura da viga;
h	- altura da viga.

A resistência das vigas à flexão (f_M) foi expressa convencionalmente pelo módulo de ruptura à flexão (MOR), determinado com uso da equação 7:

$$f_M = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W} \quad \text{sendo:} \quad (7)$$

f_M	- resistência à flexão;
$M_{m\acute{a}x}$	- momento fletor máximo, dado por $M_{m\acute{a}x} = \frac{F_{m\acute{a}x} \times l}{6}$;
$F_{m\acute{a}x}$	- carga máxima de ensaio (na ruptura);
l	- vão da peça;
W	- módulo de resistência da viga, dado por $W = \frac{b \times h^2}{6}$;

5.2.3 Ensaio nos corpos-de-prova

De cada uma das vigas ensaiadas à flexão foram confeccionados corpos-de-prova (1 c.p. por viga) para serem ensaiados destrutivamente à compressão paralela às fibras (determinação exclusiva da resistência à compressão paralela às fibras). Esses ensaios foram conduzidos em prensa hidráulica com capacidade de 100 tf marca EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda, seguindo-se as prescrições da NBR 7190 (ABNT, 1997). As cargas de ensaio foram avaliadas com uso de transdutor de pressão.

5.3 Análise dos resultados

Todos os dados de propriedades físicas e mecânicas foram tabulados em planilhas do Microsoft Excel. As análises estatísticas foram feitas com o auxílio de estatísticos do Instituto de Biociências – Departamento de Bioestatística – IBB/Unesp e da UFES – Departamento de Engenharia Florestal.

Além do Microsoft Excel, nas análises estatísticas também foram utilizados os softwares SAEG (Sistema para Análises Estatísticas, v.9.1) e Minitab 14, Statistica e SAS – *Statistical Analysis Software* – v. 9.

As grandezas foram avaliadas em todas as vigas em duas condições distintas de umidade:

- madeira na condição de umidade logo após o corte e desdobro, condição aqui referida simplificada como “madeira verde”;
- madeira na umidade de equilíbrio ao ar, simplificada referida como “madeira em equilíbrio ao ar”.

Para todas as vigas foram mensuradas, nas duas condições de umidade, as grandezas listadas a seguir.

- y1. densidade aparente
- y2. umidade
- y3. velocidade de propagação da onda de ultra-som (v_{us})
- y4. constante dinâmica (C_{LL})
- y5. velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot})
- y6. módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1})
- y7. frequência de vibração no ensaio de vibração transversal (f)
- y8. módulo dinâmico obtido pelo ensaio de vibração transversal (E_{d2})
- y9. classe obtida na classificação visual

As grandezas y10 a y12 – mensuradas em ensaios destrutivos – listadas a seguir, foram avaliadas exclusivamente com as vigas e corpos-de-prova na umidade de equilíbrio.

- y10. módulo de elasticidade obtido no ensaio destrutivo de flexão (E_M)
- y11. resistência à flexão (f_M)
- y12. resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0})

Foram conduzidas as seguintes análises:

5.3.1 Análise 1 – análise de variância para quantificação dos efeitos dos fatores

A primeira análise foi conduzida com o objetivo de avaliar os efeitos dos fatores clone (10 clones com 6,5 anos mais 1 clone com 11 anos) e árvore (10 árvores por clone) nas grandezas mensuradas. Para isso, foi feita análise de variância para cada uma das variáveis listadas, consideradas nas duas condições distintas de umidade, utilizando-se delineamento estatístico “modelos hierárquicos”, considerando-se o clone como classe e a árvore (dentro de cada clone) como sub-classe. Nos casos de significância do efeito do fator foi ainda realizado o teste de comparação de médias – Tukey – a um nível de significância de 5% - buscando a diferenciação entre os grupos.

5.3.2 Análise 2 – análise exploratória dos dados

Com uso dos softwares estatísticos citados e considerando-se, a partir deste momento, todas as vigas como pertencentes a um único universo amostral (desconsiderando-se, portanto, as diferenciações entre clones e árvores), foi realizada análise exploratória das variáveis mensuradas para as 296 vigas. Foram apresentadas as médias, desvios-padrão, coeficientes de variação, intervalo de confiança da média, quantis (0%, 5%, 50%, 95% e 100%) e o teste de normalidade dos dados (Shapiro).

5.3.3 Análise 3 – associações entre as grandezas mensuradas nas vigas

(para atendimento dos objetivos específicos 1 e 3, apresentados na introdução)

A associação entre todas as grandezas mensuradas nas vigas foi estudada pela determinação das correlações de Pearson entre elas e de suas respectivas significâncias. As associações foram estudadas dentro de cada uma das condições de umidade (madeira verde e madeira em equilíbrio ao ar).

Mesclando as duas condições de umidade, foi dada particular atenção para as associações entre as grandezas y_3 , y_5 e y_7 (mensuradas nos ensaios não-destrutivos com as vigas na condição de madeira verde) e a grandeza y_{12} , avaliada exclusivamente com os corpos-de-prova na umidade de equilíbrio ao ar.

Utilizando-se cerca de 80% do universo amostral - vigas provenientes dos clones 1270 (6,5 anos), 2486, 1187, 3281, 3301, 1265, 1097 e 1270 (11 anos) - foram ajustadas regressões lineares entre as grandezas y_3 , y_5 e y_7 (consideradas variáveis independentes) e a resistência à compressão paralela às fibras dos corpos-de-prova. Para as regressões que apresentaram significância estatística e atenderam aos demais pressupostos para sua validação, conforme apresentado por Carreira (2003), e com uso do limite inferior do IP 90 – intervalo de previsão de 90% - como estimador (metodologia adotada em Ballarin, Lara Palma e Rocha, 2003, entre outros trabalhos), foram realizadas estimativas das faixas de variação das grandezas y_3 , y_5 e y_7 que compreenderiam as classes de resistência apresentadas no Quadro 3. Os resultados obtidos foram comparados com os apresentados no Quadro 5. Posteriormente, com os 20% restantes do universo amostral (vigas dos clones 102, 1288 e 2401) foi feito teste de validação das faixas de variação assim obtidas, com a quantificação dos erros de classificação que as faixas de variação induziram.

5.3.4 Análise 4 – associações entre as grandezas mensuradas e a classe visual das vigas

(para atendimento dos objetivos específicos 2 e 4, apresentados na introdução)

A associação entre as classes visuais atribuídas às vigas e as demais grandezas nela mensuradas (nos ensaios não-destrutivos e nos ensaios destrutivos) foi estudada a partir da matriz de covariância entre essas variáveis. Por ser a grandeza y_9 uma variável descontínua, foi utilizada uma transformação de variáveis, tomando-se o valor da raiz quadrada de y_9 nas análises.

5.3.5 Análise 5 – simulações com o universo amostral das vigas

Foram realizadas diversas simulações com uso de aplicativo computacional desenvolvido com a ferramenta Delphy for Windows, v.6, com banco de dados

em Access 2003. As Figuras 11 e 12 ilustram duas telas principais do aplicativo computacional desenvolvido.

A partir do universo amostral (296 vigas), foi simulada a obtenção de 100 lotes constituídos por 50 vigas cada, aleatoriamente selecionadas sem repetição, o que correspondia a um volume aproximado de 1m³ por lote. Da mesma forma, foram simulados 100 lotes com 100 vigas (2m³ cada lote) e 100 lotes com 150 vigas cada (3m³ por lote).

As simulações tinham dois objetivos principais:

1. verificar a possibilidade de avaliação da homogeneidade dos lotes simulados, a partir das grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos (*objetivo secundário 5*);
2. complementarmente ao apresentado no item 5.3.3, verificar para cada lote simulado os erros de classificação das vigas em classes de resistência (classificação das vigas, uma a uma) que as faixas de variação das grandezas y_3 , y_5 e y_7 induziam. Os erros assim contabilizados foram comparados com aqueles cometidos, para os mesmos lotes, pela classificação do lote em classes de resistência, preconizada pela NBR 7190 (ABNT, 1997) a partir de uma amostra de corpos-de-prova de 12 vigas representativas do lote (*objetivo secundário 3*). Nessa situação as faixas de variação das grandezas foram estabelecidas.

VIGA	Y1	Y2	Y3
11004	0,6545	0	4835
	Y4	Y5	Y6
	15301	4677	14317
	Y7	Y8	Y9
	14,73	12835	5
	Y10	Y11	Y12
	15281	41,62	32,77

Figura 11 – Tela inicial, com apresentação dos valores mensurados para as grandezas para uma viga específica

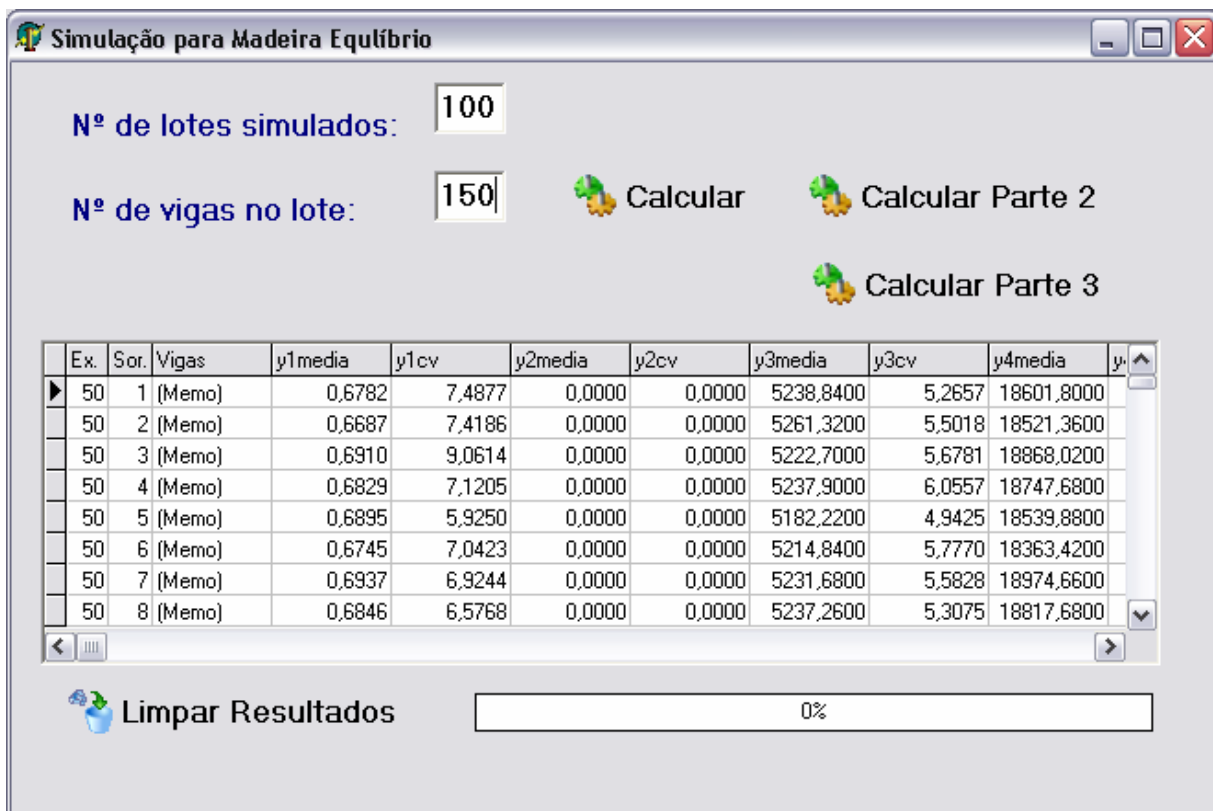


Figura 12 – Tela de início da simulação, com seleção do número de lotes e do número de vigas sorteadas por lote. A função “calcular” disponibiliza as médias e coeficientes de variação das grandezas em cada lote, a função “calcular parte 2” disponibiliza a resistência característica à compressão paralela às fibras do lote e a função “calcular parte 3” disponibiliza os erros de classificação das vigas no lote.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Dados gerais das árvores

No Quadro 7 foram apresentados os valores médios da circunferência à altura do peito (CAP), diâmetro à altura do peito (DAP) e número de vigas por árvore dos clones de *Eucalyptus sp.* utilizados no programa experimental.

Quadro 7 – Dados médios de circunferência à altura do peito, diâmetro à altura do peito e número de vigas por árvore dos clones de *Eucalyptus sp.*

Idade (anos)	Clone	Valores médios no clone (C.V.)		Número de vigas / árvore
		CAP (cm)	DAP (cm)	
6,5	1270	60,0 (5,8)	19,1	20
	2486	65,5 (5,1)	20,8	27
	1187	60,8 (6,6)	19,4	18
	3281	54,1 (8,3)	17,2	21
	3301	64,2 (6,1)	20,4	24
	1265	66,8 (6,4)	21,3	23
	1097	61,3 (3,1)	19,5	20
	102	65,1 (5,0)	20,7	22
	1288	62,9 (3,6)	20,0	21
	2401	60,1 (2,2)	19,1	20
11	1270	97,3 (10,7)	31,0	80

Observa-se que, de forma geral, as árvores de cada clone, aos 6,5 anos de idade, apresentaram uniformidade para essas grandezas. Os coeficientes de variação

resultaram de 2,2 a 8,3%, com exceção dos observados nas medições do clone 1270 (11 anos de idade), que apresentou um coeficiente de variação de 10,7%.

6.2 Vigas no estado verde

Buscando simplificar a terminologia precisa dessa condição específica da madeira, aqui adotou-se convencionalmente a terminologia “madeira na condição verde” ou “madeira no estado verde”, para fazer referência à madeira com umidade acima do PSF – ponto de saturação das fibras. Nessa condição, o valor médio da umidade das amostras selecionadas estrategicamente nas pilhas de madeira representativas da carga foi de 61%.

6.2.1 Classificação visual dos defeitos

Todas as peças foram avaliadas quanto aos defeitos. O Quadro 8 apresenta o número de peças avaliadas por clone e o número de indivíduos que se enquadraram em cada classe de qualidade da NBR 14806 (ABNT, 2002). O anexo A traz detalhadamente os resultados obtidos na avaliação individual de cada viga e os defeitos que as condicionaram às respectivas classes.

Quadro 8 – Número de peças de madeira serrada dos clones de *Eucalyptus* sp. na condição verde, por classe de qualidade.

Clone	Classes de qualidade					Total
	1	2	3	4	5	
1270	-	-	3	8	9	20
2486	-	-	4	11	12	27
1187	-	1	7	5	5	18
3281	-	-	1	16	4	21
3301	-	-	-	6	18	24
1265	-	-	1	2	20	23
1097	-	-	2	2	16	20
102	-	-	2	6	14	22
1288	-	-	-	3	18	21
2401	1	-	5	4	10	20
1270*	2	14	19	32	13	80
Total	3	15	44	95	139	296

(*) 11 anos

Observa-se que 79% das vigas de madeira foram classificadas como de quarta e quinta categoria. Cabe salientar que o enquadramento de grande número das vigas

nessas classes se deu em função do torcimento generalizado. Pela norma NBR 14806 (ABNT, 2002), independentemente da presença ou ausência de outros defeitos, as peças serradas com torcimento são enquadradas, automaticamente, nas classes 4 e 5.

Do Quadro 8 observa-se ainda que o clone 1270 (11 anos de idade) foi o que apresentou melhores índices de qualidade das peças, tendo representantes em todas as classes, o que já era esperado em virtude da idade do clone e conseqüentemente, do número relativamente reduzido de defeitos. Dentre os clones com mesma idade (6,5 anos) destaca-se o clone 1187, que teve o maior número de peças enquadradas como de terceira classe, além do clone 2401, o único a ter uma peça classificada como de primeira categoria (embora seja um dado sem maior significado no universo amostral considerado).

6.2.2 Ensaios não-destrutivos

O Quadro 9 apresenta os valores médios da densidade, freqüência de vibração, peso e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de vibração transversal, tempo de propagação, velocidade e constante dinâmica para o ensaio de ultra-som, tempo de propagação, velocidade e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de ondas de tensão da madeira dos clones de *Eucalyptus* avaliados na condição verde.

No Anexo B apresentam-se todos os resultados obtidos individualmente para cada uma das vigas, nessa condição de umidade.

Do Quadro 9 observa-se que a densidade aparente média dos clones na condição verde foi de $0,8676 \text{ g/cm}^3$, sendo o clone 1288 o que apresentou o valor máximo ($0,9500 \text{ g/cm}^3$) e o clone 2486 o valor mínimo ($0,7230 \text{ g/cm}^3$).

Para o ensaio de vibração transversal nessa condição de umidade, obteve-se um valor médio do módulo de elasticidade dinâmico de 14.171 MPa, sendo os clones 1288 e 102 os que obtiveram respectivamente maior (15.896 MPa) e menor (12.408 MPa) valor entre os clones estudados, tendência que fora verificado também quando analisado a constante dinâmica obtida pelo ensaio de ultra-som e o módulo de elasticidade avaliado através do ensaio de ondas de tensão.

Quadro 9 – Valores médios da densidade, freqüência de vibração, peso e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de vibração transversal, tempo de propagação, velocidade e constante dinâmica para o ensaio de ultra-som, tempo de propagação, velocidade e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de ondas de tensão dos clones de *Eucalyptus* avaliados na condição verde.

Clone	Dens. (g/cm ³)	Vibração Transversal			Ultra-som			Ondas de Tensão		
		f (Hz)	Peso (N)	E _{d2} (MPa)	tempo (μs)	V _{us} (m/s)	C _{LL} (MPa)	t médio (μs)	V _{ot} (m/s)	E _{d1} (MPa)
1270	0,8523	14,22	156,1	14135	634,5	4360	16202	659	4190	14962
2486	0,7230	14,85	132,6	13497	597,5	4668	15763	608	4595	15304
1187	0,9161	14,03	163,3	15005	646,9	4305	16996	660	4214	16273
3281	0,8319	13,69	133,9	13477	620,0	4383	15928	630	4310	15425
3301	0,9016	13,46	162,2	13946	654,7	4236	16203	686	4044	14758
1265	0,9065	13,67	168,5	13897	650,5	4236	16253	671	4103	15254
1097	0,8973	13,77	161,0	14005	630,0	4327	16801	650	4191	15755
102	0,8456	13,36	153,1	12408	670,8	4131	14408	692	4000	13519
1288	0,9500	14,18	170,5	15896	634,9	4364	18104	650	4257	17220
2401	0,8210	14,64	151,7	13869	637,4	4312	15267	639	4295	15136
1270 (*)	0,8987	14,41	163,2	15742	607,9	4544	18627	631	4371	17208
Mínimo	0,7230	13,36	132,6	12408	597,5	4131	14408	608	4000	13519
Máximo	0,9500	14,85	170,5	15896	670,8	4668	18627	692	4595	17220
Médio	0,8676	14,03	156,0	14171	635,0	4352	16414	652	4234	15528
D. Padrão	0,0622	0,48	12,6	1021	21,1	148	1198	25	165	1074
C. V. (%)	7,17	3,45	8,10	7,21	3,32	3,39	7,30	3,85	3,89	6,92

Do Quadro 9 observa-se ainda um baixo coeficiente de variação entre as variáveis estudadas.

6.3 Vigas na umidade de equilíbrio ao ar

6.3.1 Classificação visual dos defeitos

O Quadro 10 apresenta a quantidade de vigas avaliadas por clone com a madeira na umidade de equilíbrio ao ar e o número de indivíduos que se enquadraram em cada uma das classes de qualidade da NBR 14806 (ABNT, 2002).

O anexo C apresenta, com detalhes, os resultados obtidos na avaliação individual de cada peça.

Quadro 10 – Número de peças de madeira serrada dos clones de *Eucalyptus* sp. na condição de equilíbrio ao ar, por classe de qualidade.

Clone	Classes de qualidade					Total
	1	2	3	4	5	
1270	-	-	-	9	11	20
2486	-	-	-	6	21	27
1187	-	1	5	6	6	18
3281	-	-	-	15	6	21
3301	-	-	-	2	22	24
1265	-	-	-	1	22	23
1097	-	-	-	2	18	20
102	-	-	2	5	15	22
1288	-	-	-	-	21	21
2401	-	-	2	5	13	20
1270*	-	5	4	51	20	80
Total	0	6	13	102	175	296

(*) 11 anos

Observa-se do Quadro 10 que aproximadamente 94% das vigas de madeira foram classificadas como de quarta e quinta categoria nesta condição de umidade. O defeito que direcionou esse grande número de peças a estas categorias foi o torcimento (peças que na condição verde obtiveram classificações superiores – classes 1, 2 e 3 - com o decorrer do processo de secagem, mesmo não apresentando outros defeitos críticos, acabaram caindo no rol de classificação visual).

No Quadro 10 observa-se ainda que o clone 1270 aos 11 anos de idade, manteve os melhores índices de qualidade das peças, tendo representantes em 4 das 5 classes, o que já era esperado em virtude da idade do clone e conseqüentemente, do número reduzido de defeitos. Dentre os clones com mesma idade (6,5 anos) destaca-se o clone 1187, que teve peças enquadradas nas classes 2 e 3, seguidos pelos clones 102 e 2401.

Comparando-se os Quadros 8 e 10 observa-se que em todos os clones houve uma queda no enquadramento das vigas nas classes visuais, o que era esperado, em virtude do processo de secagem acontecer ao ar livre, sem controle da temperatura, umidade relativa e velocidade de circulação do ar, para que fossem minimizados os defeitos oriundos da secagem.

6.3.2 Ensaios não-destrutivos

O Quadro 11 apresenta dos valores médios da densidade, frequência de vibração, peso e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de vibração transversal, tempo de propagação, velocidade e constante dinâmica para o ensaio de ultra-som, tempo de propagação, velocidade e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de ondas de tensão das vigas de madeira dos clones de *Eucalyptus* avaliados na umidade de equilíbrio ao ar.

O Anexo D apresenta os valores individualizados obtidos para as vigas na umidade de equilíbrio ao ar.

Do Quadro 11 observa-se que a densidade aparente média dos clones na condição de umidade de equilíbrio ao ar ($U_{eq} \cong 12,5\%$) foi de $0,6831 \text{ g/cm}^3$, sendo o clone 1288 o que apresentou o valor máximo ($0,7489 \text{ g/cm}^3$) e o clone 2486 o valor mínimo ($0,6268 \text{ g/cm}^3$), tendência essa observada também na avaliação da madeira verde.

Quadro 11 – Valores médios da densidade, frequência de vibração, peso e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de vibração transversal, tempo de propagação, velocidade e constante dinâmica para o ensaio de ultra-som, tempo de propagação, velocidade e módulo de elasticidade dinâmico para o ensaio de ondas de tensão dos clones de *Eucalyptus* avaliados na umidade de equilíbrio ao ar.

Viga	Dens. (g/cm^3)	Vibração Transversal			Ultra-som			Ondas de Tensão		
		f (Hz)	Peso (N)	E_{d2} (MPa)	t (μs)	v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)	t médio (μs)	v_{ot} (m/s)	Ed1 (MPa)
1270	0,6729	15,73	117,51	14348	534,66	5172	17994	571	4841	15761
2486	0,6268	16,51	109,69	15004	526,41	5298	17618	559	4987	15605
1187	0,7103	15,68	118,82	15451	535,96	5199	19229	572	4867	16843
3281	0,6469	15,61	95,49	14230	512,41	5296	18112	545	4982	16030
3301	0,7180	14,73	121,56	13979	564,34	4915	17354	598	4639	15461
1265	0,6840	15,74	120,65	14602	539,54	5109	17843	573	4808	15800
1097	0,7056	15,81	117,35	15226	525,19	5194	19025	559	4880	16797
102	0,6519	15,19	113,30	12723	558,56	4963	16046	598	4637	14007
1288	0,7489	15,71	124,36	16672	533,71	5200	20298	567	4889	17931
2401	0,6660	16,39	118,82	14937	529,23	5191	18003	566	4856	15722
1270 (*)	0,6828	16,46	116,90	16488	508,42	5421	20083	539	5115	17885
Mínimo	0,6268	14,73	95,5	12723	508,4	4915	16046	539	4637	14007
Máximo	0,7489	16,51	124,4	16672	564,3	5421	20298	598	5115	17931
Médio	0,6831	15,78	115,9	14878	533,5	5178	18328	568	4864	16167
D. Padrão	0,0356	0,54	7,8	1118	16,8	144	1242	18	141	1136
C. V. (%)	5,21	3,39	6,75	7,52	3,16	2,79	6,78	3,23	2,90	7,03

Para o ensaio de vibração transversal, obteve-se nessa condição de umidade um valor médio do módulo de elasticidade dinâmico de 14.878 MPa , sendo os clones

1288 e 102 os que obtiveram respectivamente maior (16.672 MPa) e menor (12.723 MPa) valor médio entre os clones estudados, tendência que fora verificado também quando analisada a constante dinâmica obtida pelo ensaio de ultra-som e o módulo de elasticidade avaliado através do ensaio de ondas de tensão. Observou-se ainda um baixo coeficiente de variação entre as variáveis estudadas.

Tanto nos ensaios conduzidos com as peças na condição de umidade acima do PSF – ponto de saturação das fibras - quanto nas peças na umidade de equilíbrio ao ar, observou-se o mesmo padrão de comportamento.

Existe uma forte relação entre velocidade de propagação de ondas e umidade. A umidade afeta a velocidade de propagação de dois modos: no efeito intrínseco da rigidez e na densidade da madeira. A água livre aumenta a atenuação, resultando numa diminuição da velocidade nas direções longitudinal, radial e tangencial.

De acordo com Bucur (1995), em um baixo valor de umidade (menor que 18%), quando a água existente na madeira está ligada às moléculas de celulose da parede celular, o pulso ultra-sônico é atenuado pelos elementos anatômicos e pelos contornos destes elementos. Nestes contornos, analogamente ao que ocorre nos contornos de grãos de um sólido policristalino, há uma descontinuidade do módulo de elasticidade e, conseqüentemente, da impedância acústica. Neste caso, o mecanismo de atenuação relacionado às características das paredes celulares constitui, provavelmente, o fator mais importante.

Em teores de umidade mais elevados, mas ainda abaixo do ponto de saturação das fibras, a atenuação nos limites das células pode ser considerado o mais importante mecanismo de perdas. Acima do ponto de saturação das fibras, quando a água está presente nas cavidades celulares, a porosidade do material intervém como fator predominante na dispersão ultra-sônica.

A velocidade de propagação diminui drasticamente com o aumento da umidade até o ponto de saturação das fibras, sendo que a partir deste ponto, a variação da velocidade torna-se pequena. A atenuação é praticamente constante em baixos valores de umidade, mas aumenta a partir de um ponto crítico no qual as paredes das células começam a reter água livre.

Oliveira et. al (2006), estudando a influência da umidade na velocidade de propagação das ondas de ultra-som em peças de *Pinus caribea*, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus*

citriodora, *Eucalyptus grandis*, cupiúba (*Goupia glabra*) e jatobá (*Hymenaea sp*), concluíram que a velocidade ultra-sônica tende a aumentar com a diminuição do teor de umidade e o efeito do teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras é mais significativo do que acima do ponto de saturação.

Os resultados aqui obtidos indicaram uma tendência de diminuição da velocidade ultra-sônica com o aumento do teor de umidade, para todos os clones estudados.

6.3.3 Ensaios destrutivos

O Quadro 12 apresenta os valores médios e coeficientes de variação do teor de umidade, do módulo elasticidade, carga de ruptura e resistência à flexão e os valores médios da resistência à compressão paralela às fibras resultantes dos ensaios convencionais destrutivos de flexão estática e compressão paralela da madeira de eucalipto para cada um dos clones estudados. No Anexo E estão apresentados os resultados individualizados para cada uma das vigas.

Quadro 12 – Valores médios do teor de umidade, módulo de elasticidade à flexão, carga de ruptura e resistência à flexão e resistência à compressão paralela dos clones de *Eucalyptus* avaliados na umidade de equilíbrio ao ar.

Clone	Umidade (%)	Flexão estática			Compressão paralela
		E _M (MPa)	Carga Rup (kgf)	f _M (MPa)	f _{c0} (MPa)
1270	12,22	18028	2585	69,89	51,27
2486	12,64	17741	2434	64,35	45,96
1187	12,61	20294	2443	71,67	53,03
3281	12,03	16282	1798	70,44	50,59
3301	12,52	18284	2378	66,68	52,46
1265	12,43	18485	2361	66,43	47,09
1097	11,80	16915	2235	71,11	50,20
102	12,46	15681	2277	63,16	46,81
1288	12,92	22510	2814	81,62	53,19
2401	12,88	19289	2363	65,43	44,54
1270 (*)	12,16	19168	2585	75,28	54,32
Mínimo	11,80	15681	1798	63,16	44,54
Máximo	12,92	22510	2814	81,62	54,32
Médio	12,42	18425	2388	69,64	49,95
D. Padrão	0,33	1837	255	5,13	3,17
C. V. (%)	2,66	9,79	10,67	7,36	6,35

Do Quadro 12, observa-se que o teor de umidade médio das 296 vigas do universo amostral foi de 12,42%.

A resistência à compressão paralela às fibras média dos clones de *Eucalyptus* foi 49,95 MPa e o desvio-padrão foi de 6,35 MPa. Comparando-se apenas os clones com 6,5 anos de idade, a resistência média à compressão foi 49,51 MPa. Como não foi disponibilizada pela empresa Plantar – fornecedora do material experimental - a origem genética dos clones, não foi possível comparar os resultados aqui obtidos com os valores de referência das espécies, reportados pela NBR 7190 (ABNT, 1997)

Os valores de resistência apurados estiveram pouco dispersos em relação à média (coeficientes de variação de 7,4% e 6,4% para a resistência à flexão e compressão paralela, respectivamente) (Quadro 12).

6.4 Efeitos dos fatores sobre as variáveis analisadas

Como descrito na metodologia, foi realizada análise de variância – delineamento em modelos hierárquicos - para verificar o efeito de dois fatores – clone e árvore – sobre as grandezas analisadas nas duas condições distintas de umidade.

6.4.1 Madeira verde

Pelos resultados apresentados no Quadro 13 pôde-se observar que houve efeito do clone sobre todas as grandezas estudadas. O Quadro 14 apresenta os valores médios das variáveis, ratificando o efeito do clone sobre as mesmas.

Os resultados apresentados no Quadro 13 apontaram, ainda, que o efeito da árvore só foi significativo para a grandeza densidade (p-valor = 0,0002), ou seja, o modelo adotado não acusou efeito da árvore (dentro do clone) para as variáveis velocidade da onda de ultra-som, constante dinâmica, velocidade de propagação da onda de tensão, módulo dinâmico obtido em ensaios de ondas de tensão, frequência e módulo de elasticidade obtidos através de ensaio de vibração transversal e classe visual.

Quadro 13 – Resultados obtidos na análise de variância com as grandezas analisadas sob a condição verde

Grandeza	fator	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	p-valor
Densidade	clone	10	0,96332345	0,09633235	61,66	<0,0001
	árvore (clone)	98	0,27906078	0,00284756	1,82	0,0002
V _{us}	clone	10	7325881,769	732588,177	12,11	<0,0001
	árvore (clone)	98	4702801,894	47987,774	0,79	0,8986
C _{LL}	clone	10	540772279,2	54077227,9	14,23	<0,0001
	árvore (clone)	98	157750730,6	1609701,3	0,42	1,0000
V _{ot}	clone	10	7813304,243	781330,424	18,37	<0,0001
	árvore (clone)	98	3566438,842	36392,233	0,86	0,8046
E _{d1}	clone	10	390350495,4	39035049,5	15,77	<0,0001
	árvore (clone)	98	142367071,1	1452725,2	0,59	0,9981
f	clone	10	50,41346696	5,04134670	5,45	<0,0001
	árvore (clone)	98	52,17944702	0,54925734	0,59	0,9969
E _{d2}	clone	10	280148566,0	28014856,6	5,11	<0,0001
	árvore (clone)	98	273656698,4	2880596,8	0,53	0,9996
Classe	clone	10	67,65623567	6,76562357	10,14	<0,0001
	árvore (clone)	98	58,62152047	0,59817878	0,90	0,7237

Diante desses resultados foi realizado teste de comparação de médias (teste de Tukey) ao nível de significância de 5%, para verificar os efeitos do clone de forma mais específica. Os resultados estão apresentados no Quadro 14.

Os resultados do teste de comparação de médias (Tukey) apontaram que, para todas as grandezas estudadas, houve diferença estatística significativa entre os clones.

Pelo Quadro 14 observa-se que, no geral, o clone 1288 se destacou dos demais para a densidade aparente e, como consequência, para os parâmetros mecânicos inferidos pelos ensaios não-destrutivos. O clone igualou-se em desempenho mecânico (C_{LL}, E_{d1} e E_{d2}) ao clone amostrado com 11 anos de idade. De fato, a densidade é uma grandeza muito importante na avaliação das propriedades mecânicas e de elasticidade da madeira e têm efeito importante no cômputo da constante dinâmica e dos módulos de elasticidade dinâmicos, quando utilizados métodos não-destrutivos.

O clone 2486 foi o que apresentou menor densidade.

Quadro 14 – Valores médios de densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassonora, constante dinâmica, velocidade da onda de tensão, módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ensaio de ondas de tensão, frequência e módulo dinâmico obtido pelo ensaio de vibração transversal e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito do clone na madeira de *Eucalyptus* sp. na condição verde.

clone	Grandeza (valores médios nos clones)						
	Dens.	V _{us}	C _{LL}	V _{ot}	E _{d1}	f	E _{d2}
	(g/cm ³) média	(m/s) média	(MPa) média	(m/s) média	(MPa) média	(Hz) média	(MPa) média
1270	0,8523 c ¹	4360 bcd	16202 de	4190 cdef	14962 bc	14,22 abc	14135 abc
2486	0,7230 d	4668 a	15763 de	4595 a	15304 b	14,85 a	13497 bc
1187	0,9161 ab	4305 cd	16996 abcd	4214 bcde	16273 ab	14,03 abc	15005 ab
3281	0,8319 c	4383 bc	15928 de	4310 bc	15425 b	13,69 bc	13477 bc
3301	0,9016 b	4236 cd	16203 cde	4044 ef	14758 bc	13,46 c	13946 abc
1265	0,9065 b	4236 cd	16253 bcde	4103 def	15254 b	13,67 bc	13897 abc
1097	0,8973 b	4327 cd	16801 bcd	4191 cdef	15755 b	13,77 bc	14005 abc
102	0,8456 c	4131 d	14408 e	4000 f	13519 c	13,36 c	12408 c
1288	0,9500 a	4364 bcd	18104 ab	4257 bcd	17220 a	14,18 abc	15896 a
2401	0,8210 c	4312 cd	15267 de	4295 bc	15136 b	14,64 ab	13869 abc
1270*	0,8987 b	4544 ab	18627 a	4371 b	17208 a	14,41 ab	15742 a

¹ Numa mesma coluna, médias seguidas de pelo menos uma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

* 11 anos de idade.

Como a densidade foi a única grandeza onde foi verificada diferença significativa entre as árvores (dentro do clone), a análise de variância indicou que algumas árvores dentro dos clones pontualmente se destacaram para que essa diferença tivesse sido observada. A árvore 3 dentro do clone 1187 teve uma densidade 0,9913g/cm³, notadamente superior à média do clone (0,9161 g/cm³), o mesmo aconteceu com as árvores 5 (0,8866 g/cm³) e 8 (0,8918 g/cm³) dentro do clone 3281, a árvore 3 (0,9620 g/cm³) dentro do clone 3301, as árvores 5 (0,9464 g/cm³) e 9 (0,9495 g/cm³) dentro do clone 1265, a árvore 9 (0,9196 g/cm³) dentro do clone 2401 e as árvores 2 (0,9242 g/cm³) e 8 (0,9302 g/cm³) dentro do clone 1265.

A análise de variância conduzida para a grandeza velocidade de propagação da onda de ultra-som apontou diferença estatística principalmente entre o clone 2486 e os demais, sendo o clone 102 o que apresentou menor desempenho. Curiosamente, o clone que apresentou a maior velocidade média (v_{us}) – clone 2486 - foi o que acusou a menor densidade aparente média na condição verde, indicando que a velocidade de propagação de ondas não está ligada diretamente à densidade, mas sim à organização elementar do meio de propagação.

Para a grandeza constante dinâmica (C_{LL}), a análise de variância mostrou uma superioridade do clone 1270 (11 anos) em relação aos demais, sendo o pior desempenho apresentado pelo clone 102.

A velocidade de propagação das ondas de tensão teve um padrão de comportamento semelhante ao da velocidade de propagação do ultra-som, com destaque para o clone 2486 e o pior resultado apresentado pelo clone 102.

O módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ensaio de ondas de tensão também mostrou diferença significativa entre os clones 1288 e 1270 (11 anos) e os demais, sendo o clone 102 o que apresentou menor média.

Com relação ao ensaio de vibração transversal, os clones tiveram um desempenho bastante semelhante, podendo destacar basicamente a diferença na frequência de vibração entre o clone 2486 e os clones 3301 e 102 e a diferença estatisticamente significativa entre os clones 1288 e 1270 (11anos) sobre o clone 102.

De uma maneira sintética pode-se dizer que os padrões de variação apontaram uma superioridade geral do clone 1270 (11 anos), justificada, evidentemente, pela idade diferenciada. Para as árvores com 6,5 anos coube destaque ao clone 2486 no que se refere às velocidades de propagação de ondas e frequência de vibração, e ao clone 1288 na grandeza densidade aparente, o que acabou influenciando nos valores dos parâmetros mecânicos inferidos. O clone 102 foi o que apresentou desempenhos inferiores, no geral.

6.4.2 Madeira em equilíbrio ao ar

Do Quadro 15 observa-se que só houve efeito do clone sobre as grandezas estudadas, ou seja, o modelo adotado não acusou efeito da árvore (dentro do clone) quando avaliadas as grandezas com a madeira na umidade de equilíbrio ao ar.

Diante desses resultados foi feito teste de comparação de médias (teste de Tukey) ao nível de significância de 5%, para verificar os efeitos do clone de forma mais específica. Os resultados foram apresentados no Quadro 16.

Quadro 15 – Resultados obtidos na análise de variância com as grandezas analisadas sob a condição de equilíbrio ao ar.

Grandeza	fator	GL	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	p-valor
Densidade	clone	10	0,27888910	0,02788891	17,10	<0,0001
	árvore (clone)	98	0,12382802	0,00126355	0,77	0,9202
V _{us}	clone	10	7816657,012	781665,701	15,00	<0,0001
	árvore (clone)	98	6387304,982	65176,581	1,25	0,0969
C _{LL}	clone	10	502805884,2	50280588,4	16,40	<0,0001
	árvore (clone)	98	275487829,3	2811100,3	0,92	0,6809
V _{ot}	clone	10	7772691,009	777269,101	17,07	<0,0001
	árvore (clone)	98	5474482,531	55862,067	1,23	0,1176
E _{d1}	clone	10	439251143,1	43925114,3	17,91	<0,0001
	árvore (clone)	98	183132674,0	1868700,8	0,76	0,9326
f	clone	10	77,78955181	7,7789518	7,26	<0,0001
	árvore (clone)	98	98,97599517	1,04185258	0,97	0,5530
E _{d2}	Clone	10	369454560,6	36945456,1	12,78	<0,0001
	árvore (clone)	98	222294795,2	2339945,2	0,81	0,8684
Classe	Clone	10	36,81005161	3,68100516	9,58	<0,0001
	árvore (clone)	98	23,38755460	0,23864852	0,62	0,9954

Os resultados apresentados no Quadro 16 ratificaram, no geral, os comentários já elaborados a partir do Quadro 14. Nessa nova condição de umidade foi confirmada a superioridade em densidade aparente do clone 1288 sobre os demais de mesma idade, o que acabou novamente se refletindo nos parâmetros mecânicos inferidos nos ensaios não-destrutivos.

Do Quadro 16 observa-se, ainda, uma homogeneidade com relação à densidade aparente para os demais clones, sendo o clone 2486 o que apresentou, novamente, a menor densidade aparente.

O ensaio utilizando o equipamento de ultra-som mostrou diferença estatisticamente significativa entre a velocidade de propagação da onda dos clones, tendo os clones 1270 (11anos) e 2486 as maiores velocidades de propagação, e os clones 102 e 3301 as menores. Quando analisada sob a ótica da constante dinâmica, o destaque é a superioridade dos clones 1288 (efeito claro da elevada densidade aparente) e 1270 (11anos) sobre os clones 3301 e 102.

Ainda no Quadro 16 observam-se diferenças significativas entre o clone 1270 (11anos) e os demais, destacando-se a superioridade sobre os clones 3301 e 102 no que tange à velocidade da onda de tensão e as diferenças entre os clones 1288 e 1270 (11anos) sobre os demais, principalmente sobre o clone 102, quando avaliados os módulos dinâmicos obtidos pelo ensaio de ondas de tensão.

Relativamente ao ensaio de vibração transversal, o resultado da análise de variância para a frequência de vibração apontou diferenças significativas entre os clones 2486, 1270 (11anos) e 2401 quando comparados aos clones 102 e 3301. Para o módulo dinâmico, as análises apontaram diferenças entre os clones 1288 e 1270 (11anos) sobre o clone 102.

Quadro 16 – Valores médios de densidade, velocidade de propagação da onda ultrassonora, constante dinâmica, velocidade da onda de tensão, módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo ensaio de ondas de tensão, frequência e módulo dinâmico obtido pelo ensaio de vibração transversal e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito do clone na madeira de *Eucalyptus* na condição de equilíbrio ao ar.

clone	Grandeza						
	Dens.	V _{us}	C _{LL}	V _{ot}	E _{d1}	f	E _{d2}
	(g/cm ³) média	(m/s) média	(MPa) média	(m/s) média	(MPa) média	(Hz) média	(MPa) média
1270	0,6729 cdef ¹	5172 bc	17994 bc	4841 bc	15761 b	15,73 ab	14348 bc
2486	0,6268 g	5298 ab	17618 bcd	4987 ab	15605 b	16,51 a	15004 b
1187	0,7103 abc	5199 bc	19229 ab	4867 b	16843 ab	15,68 ab	15451 ab
3281	0,6469 fg	5296 ab	18112 bc	4982 ab	16030 b	15,61 ab	14230 bc
3301	0,7180 ab	4915 d	17354 cd	4639 c	15461 bc	14,73 b	13979 bc
1265	0,6840 bcde	5109 bcd	17843 bc	4808 bc	15800 b	15,74 ab	14602 b
1097	0,7056 bcd	5194 bc	19025 abc	4880 b	16797 ab	15,81 ab	15226 ab
102	0,6519 efg	4963 cd	16046 d	4637 c	14007 c	15,19 b	12723 c
1288	0,7489 a	5200 b	20298 a	4889 b	17931 a	15,71 ab	16672 a
2401	0,6660 def	5191 bc	18003 bc	4856 b	15722 b	16,39 a	14937 b
1270*	0,6828 cde	5421 a	20083 a	5115 a	17885 a	16,46 a	16488 a

¹ Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

* 11 anos de idade.

Assim, conforme já comentado, todos os ensaios não-destrutivos para as vigas na condição de umidade de equilíbrio ao ar apontaram o mesmo comportamento que fora observado para a outra condição de umidade. Destacaram-se os clones 1270 (11anos) e 2486 sobre os demais quando analisadas as velocidade de propagação e a frequência de vibração, e os clones 1270 (11 anos) e 1288 quando analisadas a constante e módulos dinâmicos.

O Quadro 17 ilustra o resultado da análise de variância do fator clone quando as grandezas foram avaliadas por meio de ensaios destrutivos de flexão estática (E_M e f_M) e compressão paralela às fibras (f_{c0}) com a madeira na umidade de equilíbrio ao ar (U_{eq} ≅ 12,5%).

No ensaio de flexão estática, quando analisados os módulos de elasticidade, o clone 1288 foi o que apresentou melhor desempenho, com diferenças estatisticamente significativas em relação à maioria dos clones. O clone 102 foi o que apresentou menor rigidez média à flexão.

Com relação aos valores médios da resistência à flexão, o clone 1288 sobressaiu-se aos demais, principalmente quando seus resultados são comparados aos dos clones 3301, 1265, 2401, 2486 e, finalmente, clone 102 que obteve, novamente, a menor média dentre os clones avaliados nesse quesito.

Ainda no Quadro 17, avaliando-se as resistências médias à compressão paralela às fibras, mensuradas em corpos-de-prova das vigas, os resultados apontaram os clones 1270 (11anos), 1288, 1187 e 3301 como estatisticamente iguais, diferenciando-se dos demais estudados.

Quadro 17 – Valores médios do módulo de elasticidade à flexão, resistência à flexão e resistência à compressão paralela às fibras e resultado do teste de comparação de médias avaliando o efeito do clone da madeira de *Eucalyptus* na condição de equilíbrio ao ar.

clone	E_M (MPa)	f_M (MPa)	f_{c0} (MPa)
1270	18028 bcd ¹	69,89 bc	51,27 ab
2486	17741 bcd	64,35 c	45,96 bc
1187	20294 ab	72,82 abc	53,03 a
3281	16282 bcd	70,44 abc	50,59 ab
3301	18284 bcd	66,68 c	52,46 a
1265	18485 bcd	66,43 c	47,09 bc
1097	16915 cd	71,11 abc	50,20 abc
102	15681 d	63,16 c	46,81 bc
1288	22510 a	81,62 a	53,19 a
2401	19289 ab	65,43 c	44,54 c
1270*	19168 bc	75,28 ab	54,32 a

¹ Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

* 11 anos de idade.

Os ensaios de flexão e compressão paralela apontaram novamente uma superioridade do clone 1288 sobre os demais.

6.5 Análise exploratória dos dados

Considerando-se, a partir deste ponto do trabalho, todas as vigas como pertencentes a um único universo amostral, foi realizada análise exploratória das variáveis mensuradas nas 296 vigas.

As Figuras 13 e 14 apresentam, respectivamente, as médias, desvios-padrão, coeficientes de variação, intervalo de confiança da média, quantis (0%, 5%, 50%, 95% e 100%) e o teste de normalidade dos dados (Shapiro) para as peças de madeira de *Eucalyptus* sp. nas condições verde e em equilíbrio ao ar.

Pela Figura 13 observou-se que todas as grandezas mensuradas na condição verde apresentaram p-valores inferiores a 0,05 (teste estatístico de Shapiro), o que significa dizer que os dados não apresentaram um padrão normal de distribuição. Essa constatação contrariou o que poderia ser inferido, numa análise meramente visual dos histogramas, considerando-se, sobretudo, a simetria das curvas (em vermelho na figura) O histograma de distribuição de frequências ilustra esse padrão de distribuição normal.

Com essa constatação houve necessidade de se analisar, posteriormente, se os testes estatísticos paramétricos que se seguem eram as ferramentas mais adequadas a utilizar.

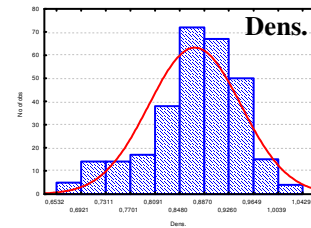
Observou-se ainda, um baixo coeficiente de variação dentre as grandezas avaliadas, sendo o menor deles atribuído à velocidade de propagação das ondas de tensão (5,95%) e o maior à constante dinâmica obtida no ensaio de vibração transversal (16,22%).

A partir dos resultados apresentados na Figura 14 observou-se que, no geral, as grandezas mensuradas na condição de equilíbrio ao ar também apresentaram p-valores inferiores a 0,05 (teste de Shapiro), não podendo ser assumido, para elas, padrão normal de distribuição. Deste grupo excetuam-se as grandezas: velocidade da propagação das

ondas de tensão, frequência de vibração e as duas resistências , à flexão e à compressão paralela às fibras (corpos-de-prova).

Observa-se ainda, um baixo coeficiente de variação dentre as grandezas avaliadas nos ensaios não-destrutivos, sendo o menor atribuído à velocidade de propagação das ondas de ultra-som (5,42%) e o maior a constante dinâmica obtida no ensaio de vibração transversal (13,06%). Os ensaios destrutivos apresentaram coeficientes de variação maiores, entre 12,53% (resistência à compressão paralela) e 19,43% (módulo de elasticidade à flexão) e esse resultado chamou a atenção para algumas análises que se seguiram.

No geral, os valores dos coeficientes de variação foram menores nas grandezas avaliadas na condição de equilíbrio quando comparadas às grandezas analisadas na condição verde.



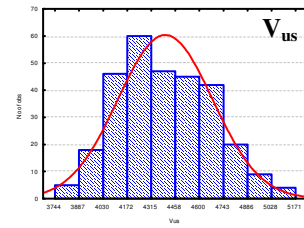
N = 296
Média = 0,8710
Desv.Padrão = 0,0727
C.V. = 8,35
Interv. Conf. = 0,0083

Quantis

0% (g/cm^3) = 0,6532
5% (g/cm^3) = 0,7136
50% (g/cm^3) = 0,8788
95% (g/cm^3) = 0,9713
100% (g/cm^3) = 1,0429

Teste de Normalidade

Valor = 0,95776
p-valor = 0,0000



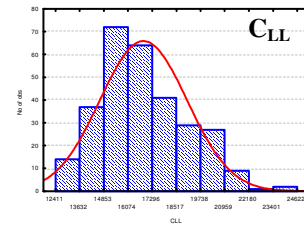
N = 296
Média = 4394
Desv.Padrão = 279
C.V. = 6,35
Interv. Conf. = 31,77

Quantis

0% (m/s) = 3744
5% (m/s) = 3991
50% (m/s) = 4374
95% (m/s) = 4852
100% (m/s) = 5171

Teste de Normalidade

Valor = 0,98841
p-valor = 0,0182



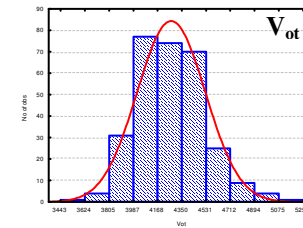
N = 296
Média = 16829
Desv.Padrão = 2188
C.V. = 13,00
Interv. Conf. = 249,23

Quantis

0% (m/s) = 12411
5% (m/s) = 13715
50% (m/s) = 16434
95% (m/s) = 20735
100% (m/s) = 24622

Teste de Normalidade

Valor = 0,97385
p-valor = 0,0000



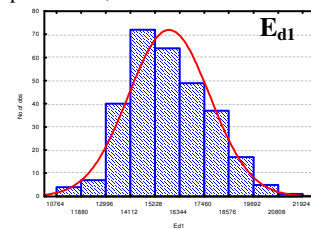
N = 296
Média = 4265
Desv.Padrão = 254
C.V. = 5,95
Interv. Conf. = 28,92

Quantis

0% (m/s) = 3443
5% (m/s) = 3906
50% (m/s) = 4272
95% (m/s) = 4669
100% (m/s) = 5257

Teste de Normalidade

Valor = 0,98403
p-valor = 0,0022



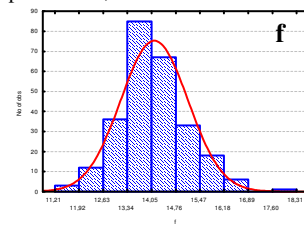
N = 296
Média = 15837
Desv.Padrão = 1832
C.V. = 11,56
Interv. Conf. = 208,65

Quantis

0% (MPa) = 10764
5% (MPa) = 13108
50% (MPa) = 15731
95% (MPa) = 18810
100% (MPa) = 21924

Teste de Normalidade

Valor = 0,98879
p-valor = 0,0220



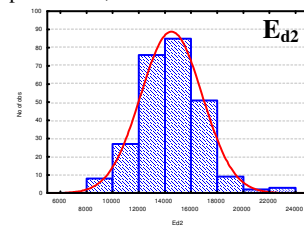
N = 261
Média = 14,11
Desv.Padrão = 0,98
C.V. = 6,95
Interv. Conf. = 0,11

Quantis

0% (Hz) = 11,21
5% (Hz) = 12,62
50% (Hz) = 14,01
95% (Hz) = 15,86
100% (Hz) = 18,31

Teste de Normalidade

Valor = 0,98521
p-valor = 0,0085



N = 261
Média = 14455
Desv.Padrão = 2345
C.V. = 16,22
Interv. Conf. = 267,12

Quantis

0% (MPa) = 8591
5% (MPa) = 10780
50% (MPa) = 14313
95% (MPa) = 18205
100% (MPa) = 22538

Teste de Normalidade

Valor = 0,98673
p-valor = 0,0163

Figura 13 - Valores descritivos e teste de normalidade das grandezas avaliadas nos clones de *Eucalyptus* sp. na condição verde.

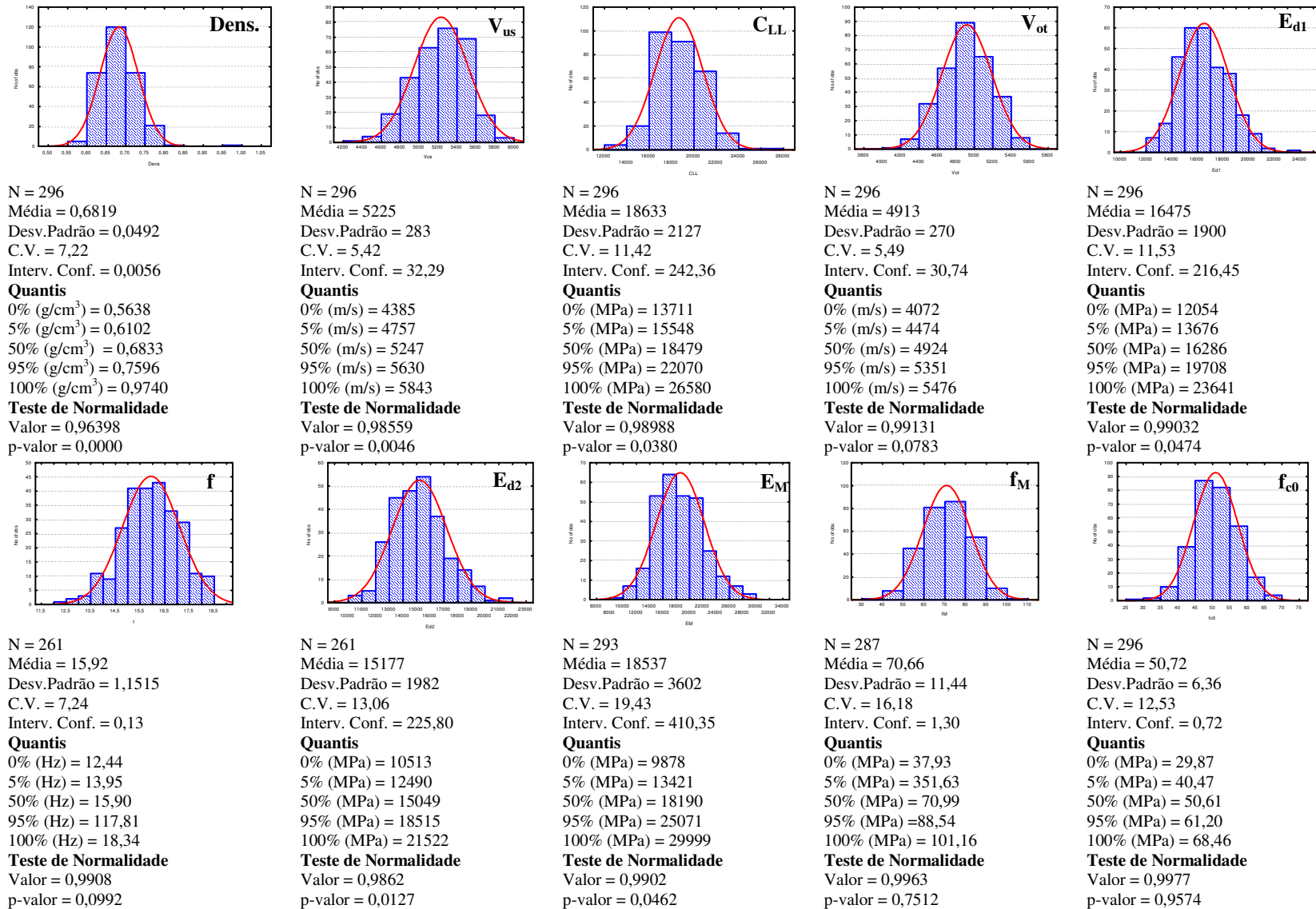


Figura 14 - Valores descritivos e teste de normalidade das grandezas avaliadas nos clones de *Eucalyptus* sp. na condição em equilíbrio ao ar.

6.6 Associações entre as grandezas mensuradas – Parte 1

Foram feitas associações entre todas as grandezas estudadas (exceção da grandeza “classe da viga”, variável descontínua). Os resultados obtidos foram apresentados nos Quadros 18 e 19, respectivamente para as peças de madeira de *Eucalyptus sp.* avaliadas nas condições verde e em equilíbrio ao ar.

Quadro 18 – Resultados das correlações de Pearson entre as grandezas das árvores de *Eucalyptus* na condição verde.

Variável	Resultado do teste	Variáveis				
		V_{us}	C_{LL}	V_{ot}	E_{d1}	E_{d2}
Dens. aparente	r	-0,325	0,354	-0,397	0,345	0,355
	p-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V_{us}	r		0,766	0,810	0,588	0,371
	p-valor		0,000	0,000	0,000	0,000
C_{LL}	r			0,523	0,810	0,594
	p-valor			0,000	0,000	0,000
V_{ot}	r				0,721	0,309
	p-valor				0,000	0,000
E_{d1}	r					0,577
	p-valor					0,000

O Quadro 18 mostra que não foram verificadas correlações fortes (acima de 85%) entre as variáveis estudadas na condição verde.

Contudo, todas as correlações resultaram significativas ao nível de 5%. Com esses resultados (significância das correlações) não houve a necessidade de avaliação de correlações com testes não-paramétricos, como se havia cogitado no item 6.5 retro.

Observou-se ainda que ocorreram boas correlações (acima de 70%) e significativas a um nível de significância de 5% (p -valor $< 0,05$) entre a velocidade da onda de ultra-som (v_{us}) e a constante dinâmica (C_{LL}) e a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}), entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}) e, finalmente, entre a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}). Confirmando análises anteriores deste trabalho, não foram verificadas boas correlações entre a densidade aparente e as demais grandezas.

O Quadro 19 mostra que para os clones de *Eucalyptus* na condição de equilíbrio ao ar ocorreram correlações fortes (acima de 85%) e significativas a um nível de significância de 5% (p -valor $< 0,05$) entre a velocidade da onda de ultra-som (v_{us}) e a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}), entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}), entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo dinâmico obtido pelo método da vibração transversal (E_{d2}) e, finalmente, entre o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}) e módulo dinâmico obtido pelo método da vibração transversal (E_{d2}).

Observou-se ainda que ocorreram boas correlações (acima de 70%) e significativas a 5% (p -valor $< 0,05$) entre a velocidade da onda de ultra-som (v_{us}) e a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}) – entre a constante dinâmica (C_{LL}) e a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}) – entre a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}) e o módulo dinâmico obtido pelo método da vibração transversal (E_{d2}) e finalmente entre o módulo dinâmico obtido pelo método da vibração transversal (E_{d2}) e a resistência à flexão (f_M). E, finalizando não foram verificadas boas correlações entre a densidade aparente (dens.) e as demais grandezas.

Destacam-se os baixos coeficientes de correlação apresentados entre C_{LL} , E_{d1} e E_{d2} e o módulo de elasticidade à flexão E_M ($0,28 < R < 0,32$).

Mesclando as duas condições de umidade, a Figura 15 apresenta a regressão linear e o intervalo de previsão (IP) de 90% entre a velocidade de propagação das ondas de ultra-som (v_{us}), a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}) e a frequência de vibração (f) na condição verde e a resistência à compressão paralela às fibras na condição

de equilíbrio ao ar. Apresenta, também, o resultado do teste de normalidade dos resíduos da regressão.

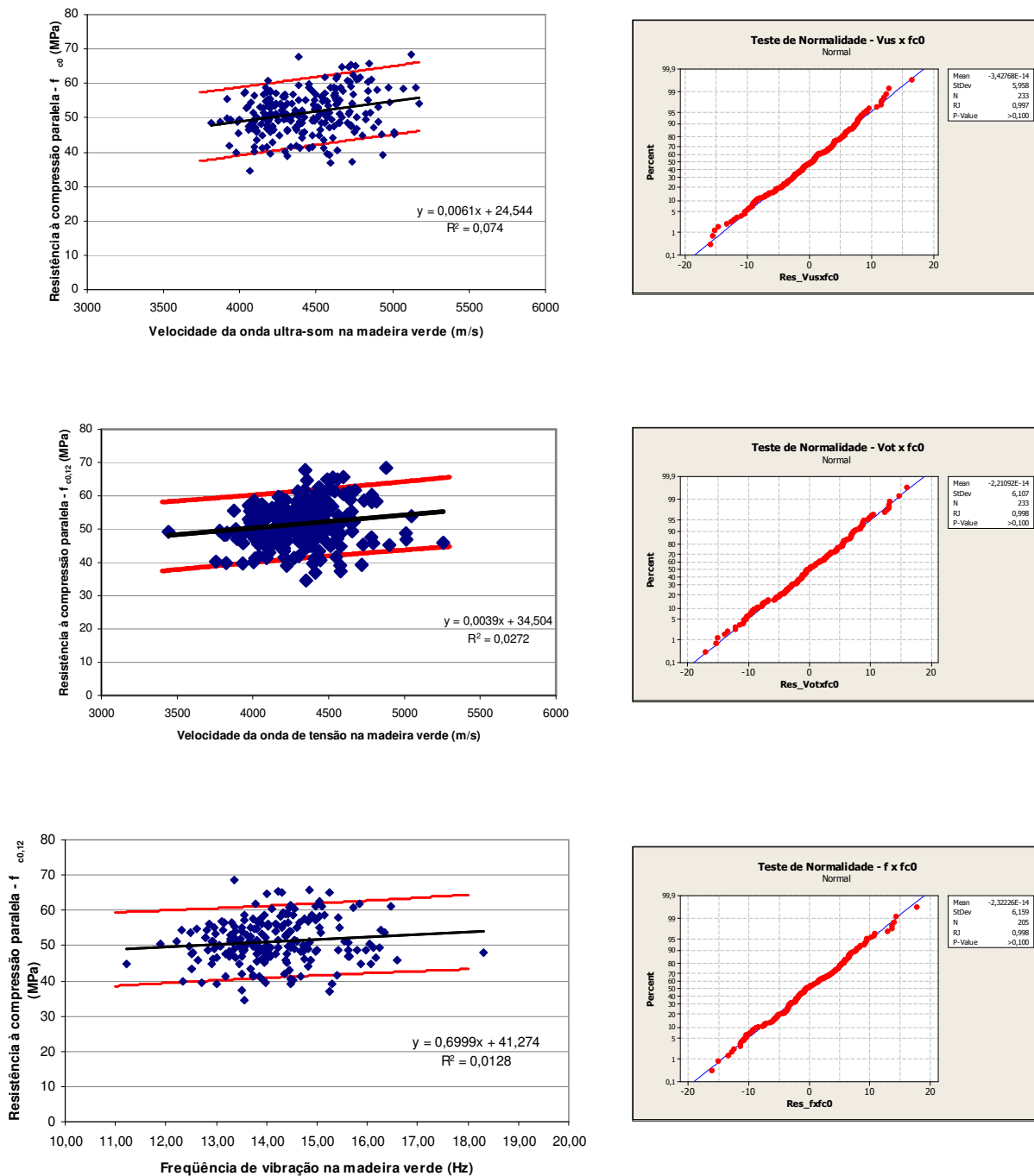


Figura 15 – Regressão linear (reta intermediária, em preto), intervalo de previsão (retas em vermelho) e teste de normalidade dos resíduos da regressão linear da madeira de *Eucalyptus* sp. quando v_{us} , v_{ot} e f são avaliadas com a madeira na condição verde.

Nessas análises utilizaram-se somente os resultados mensurados nas vigas provenientes dos clones 1270 (6,5 anos), 2486, 1187, 3281, 3301, 1265, 1097 e 1270 (11 anos), correspondentes a cerca de 80% do universo amostral. Os 20% restantes dos resultados (mensurados em vigas dos clones 102, 1288 e 2401) foram reservados para validação dos modelos assim estabelecidos.

A reta inferior do intervalo de previsão (IP) de 90% garantiria que, para novas previsões, com 95% de probabilidade, a variável dependente seria maior que o valor apresentado por ela (reta inferior). O procedimento de utilização dessa reta como estimador já foi empregado por Galligan e McDonald (2000) e por Carreira (2003), entre outros.

Pela Figura 15 notou-se, de imediato, uma grande dispersão dos valores, com um coeficiente de determinação linear igual a 7,4% para a regressão utilizando a velocidade de propagação da onda de ultra-som, 2,7% para a regressão utilizando como estimador a velocidade de propagação das ondas de tensão e 1,3% usando a frequência de vibração.

Observou-se que, para as três grandezas avaliadas (v_{us} , v_{ot} e f), os gráficos dos resíduos contra os escores normais apresentam um padrão normal de distribuição (p -valor $> 0,100$). Portanto, a análise de variância pode ser usada para verificar a qualidade do modelo ajustado.

Uma aplicação importante do modelo de regressão é estimar valores da variável resposta (y) para um valor específico do estimador (x) e, com essa finalidade, foram construídos os intervalos de previsão para as estimativas.

Assumindo-se a linha inferior do intervalo de previsão de 90%, os Quadros 20, 21 e 22 apresentam, respectivamente, as estimativas das faixas de variação das grandezas v_{us} , v_{ot} e f , avaliadas na condição verde, compreendendo as classes de resistência - preconizadas pela NBR 7190 e outras classes intermediárias - a validação do modelo com os 20% restantes do universo amostral (vigas dos clones 102, 1288 e 2401) e a quantificação dos erros de classificação que as faixas de variação induziram.

Quadro 20 – Faixas de variação da velocidade da onda (v_{us}) obtidas através de ensaios de ultra-som (vigas na condição verde) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.

Classe	$v_{us, sat}$ (m/s)	f_{c0} (MPa)	Validação (em quant. de vigas)			Erro (%)
			Atingiram velocidade	Atingiram f_{c0}	Não atingiram f_{c0}	
25		25				
30	$v < 3390$	30	0	-	-	
35	$3390 \leq v < 4160$	35	23	21	2	8,7
40	$4160 \leq v < 4980$	40	40	40	0	0
45	$4980 \leq v < 5880$	45	0			
50	$v \geq 5880$	50	0			
55		55				
60		60				

Quadro 21 – Faixas de variação da velocidade da onda de tensão (v_{ot}) obtidas através de ensaios de ondas de tensão (vigas na condição verde) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.

Classe	$v_{ot, sat}$ (m/s)	f_{c0} (MPa)	Validação (em quant. de vigas)			Erro (%)
			Atingiram velocidade	Atingiram f_{c0}	Não atingiram f_{c0}	
25		25				
30		30				
35	$v < 4010$	35	14	13	1	7,1
40	$4010 \leq v < 5390$	40	49	46	3	6,1
45	$v \geq 5390$	45	0			
50		50				
55		55				
60		60				

Pelo Quadro 20 nota-se, por exemplo, que na faixa de velocidades entre 3390m/s e 4160 m/s – que segundo a metodologia adotada garantiria resistência mínima de 35MPa em 95% das novas estimativas - foram enquadradas 23 vigas. Delas, 21 atingiram a resistência esperada. As duas vigas dessa faixa que não atingiram a resistência representaram um erro de 8,7% (2 vigas em 23). Com igual interpretação, conduzida para a faixa de velocidade seguinte, constatou-se que nenhuma viga ficou com resistência abaixo do limite de 40MPa.

Quadro 22 – Faixas de variação da frequência de vibração (f) obtidas através de ensaios de vibração transversal (vigas na condição verde) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.

Classe	f_{sat} (Hz)	f_{c0} (MPa)	Validação (em quant. de vigas)			Erro (%)
			Atingiram velocidade	Atingiram f_{c0}	Não atingiram f_{c0}	
25		25				
30		30				
35	$f < 12,85$	35	4	3	1	25
40	$12,85 \leq f < 21,95$	40	54	51	3	5,5
45	$f \geq 21,95$	45	0			
50		50				
55		55				
60		60				

Análise semelhante, conduzida para as relações de regressão entre a velocidade de propagação das ondas de tensão (Quadro 21) e a resistência à compressão conduziu a limites de velocidade de 4010m/s, 5390m/s e superior a 5390m/s, para as resistências à compressão paralela de 35 MPa, 40 MPa e 45MPa, respectivamente. Do Quadro 21 observa-se que, nessa nova situação, as faixas de velocidade assumidas permitiram o enquadramento em lotes que atendiam as respectivas resistências definidas, tendo, no máximo 7,1% das peças com resistência inferior ao valor esperado para a faixa de velocidade.

Seguindo a mesma premissa, com a utilização da frequência de vibração do ensaio de vibração transversal (Quadro 22) como limitador do enquadramento das vigas, os erros nas faixas de 35MPa e 40MPa foram de 25% e 5,5%, respectivamente.

A título de comparação foi conduzida análise semelhante à expressa no Quadro 20, tomando-se como base as faixas de velocidade de propagação da onda de ultrassom propostas pelo Projeto de Norma (ABNT, 2007) e utilizando-se os resultados exclusivos da amostra de validação (20% do universo amostral). Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 23.

Quadro 23 – Faixas de variação da velocidade da onda (v_{us}) propostas pelo Projeto de Norma (ABNT, 2007) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.

Classe	$V_{LL, sat}$ (m/s)	f_{c0} (MPa)	Validação			
			Atingiram velocidade	Atingiram f_{c0}	Não atingiram f_{c0}	Erro (%)
25	$3040 \leq v < 3690$	25				
30	$3690 \leq v < 3950$	30	5	5	0	0
35	$3950 \leq v < 4140$	35	17	16	1	5,9
40	$4140 \leq v < 4300$	40	10	10	0	0
45	$4300 \leq v < 4390$	45	11	9	2	18,8
50	$4390 \leq v < 4490$	50	8	4	4	50,0
55	$4490 \leq v < 4600$	55	5	1	4	80,0
60	$v \geq 4600$	60	7	0	7	100,0

Pelo Quadro 23 observa-se que para a faixa de velocidades (resistência mínima de 30 MPa), foram enquadrados, em termos de velocidade, 5 vigas e destas 100% atingiram o valor mínimo de resistência à compressão. Análises semelhantes conduzidas para as faixas de velocidade propostas pelo projeto de norma conduziram a valores de erro cada vez maiores, chegando a 100% de erro no caso de peças com velocidade superior a 4.600 m/s e resistência à compressão mínima de 60 MPa. O fator idade deve ser considerado na análise, pois a norma estudou indivíduos arbóreos com idades médias em torno de 45 anos, enquanto que no presente estudo indivíduos bem mais jovens foram utilizados na validação das faixas de velocidade.

Esse resultado parece indicar que as faixas de velocidade (ou frequência) têm aplicação restrita ao universo amostral para o qual foram estabelecidas. Essa assertiva precisaria de comprovação experimental, com o uso dos intervalos de classificação aqui estabelecidos em outros universos amostrais.

Seguindo procedimento semelhante, a partir das regressões lineares e intervalos de previsão entre a velocidade de propagação das ondas de ultra-som, velocidade de propagação das ondas de tensão e frequência de vibração e a resistência à compressão paralela (todas as variáveis mensuradas nas vigas na condição de equilíbrio ao ar) e o resultado do teste de normalidade dos resíduos da regressão, utilizando-se cerca de 80% do universo amostral, foram estabelecidos novos intervalos de variação das grandezas (v_{us} , v_{ot} e f) que caracterizariam as classes de resistência. A Figura 16 ilustra graficamente as regressões lineares estabelecidas e as análises de normalidade dos resíduos das regressões.

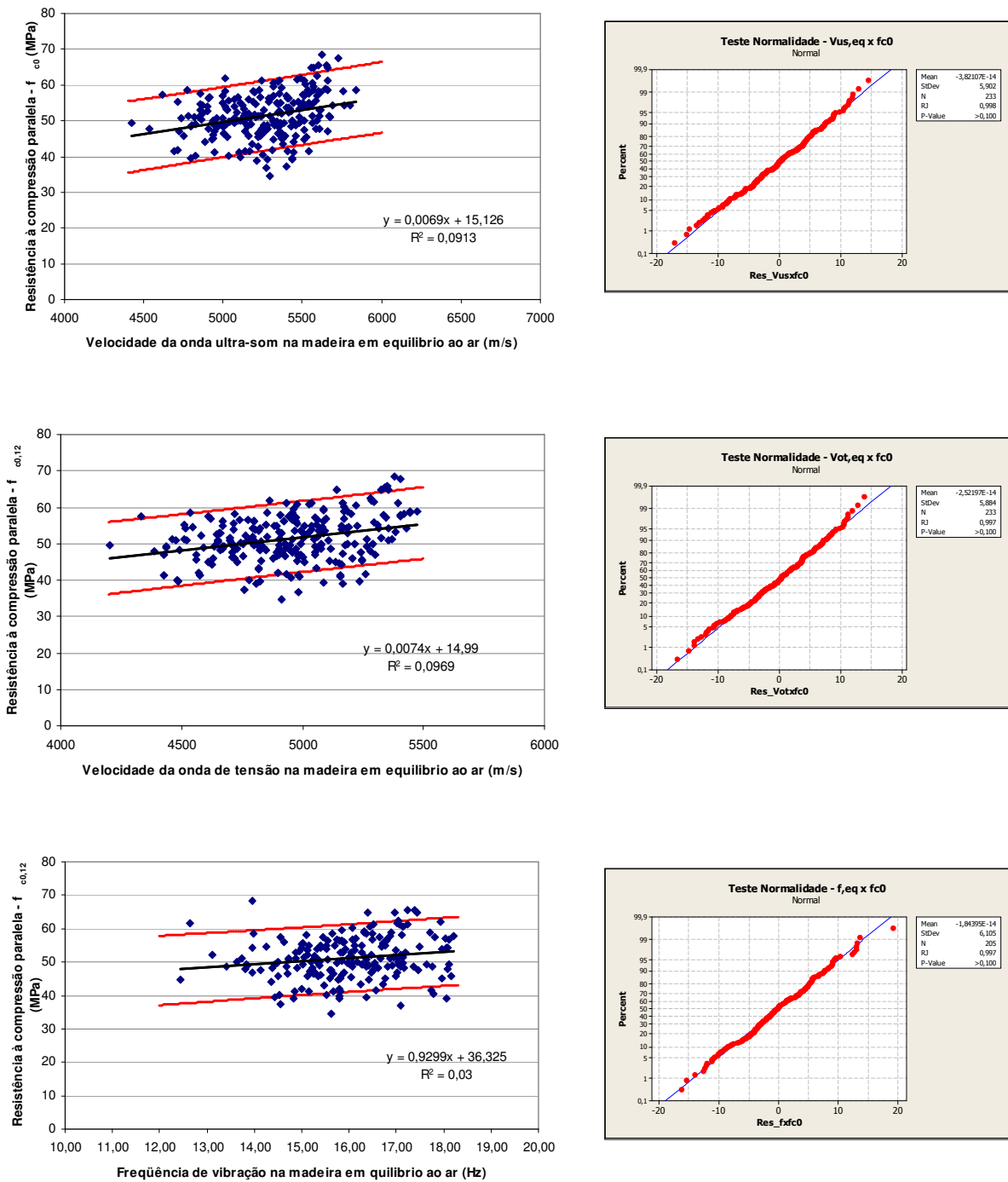


Figura 16 – Regressão linear (reta intermediária), intervalo de previsão (retas em vermelho) e teste de normalidade dos resíduos da regressão linear da madeira de *Eucalyptus* sp. quando v_{us} , v_{ot} e f são avaliadas com a madeira na umidade de equilíbrio ao ar.

Novamente nessa situação, a Figura 16 evidencia uma grande dispersão dos valores, com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 9,1% para a regressão utilizando a velocidade de propagação da onda de ultra-som, 9,7% para a regressão utilizando como estimador a velocidade de propagação das ondas de tensão e 3% usando a frequência de vibração.

Da Figura 16 observa-se que para as três grandezas avaliadas (v_{us} , v_{ot} e f), os gráficos dos resíduos contra os escores normais apresentaram um padrão normal de distribuição (p-valor > 0,100). Portanto, a análise de variância pode ser usada para verificar a qualidade do modelo ajustado.

Assumindo-se o mesmo procedimento utilizado nos Quadros 20 a 22, os Quadros 24, 25 e 26 apresentam as estimativas das faixas de variação das grandezas V_{us} , V_{ot} e f , respectivamente, compreendendo as classes de resistência - preconizadas pela NBR 7190 e outras classes intermediárias - a validação do modelo com os 20% restantes do universo amostral e a quantificação dos erros de enquadramento que as faixas de variação induziram.

Quadro 24 – Faixas de variação da velocidade da onda (v_{us}) obtidas através de ensaios de ultra-som (vigas na unidade de equilíbrio) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.

Classe	$v_{us, eq}$ (m/s)	f_{c0} (MPa)	Validação (em quant. de vigas)			Erro (%)
			Atingiram velocidade	Atingiram f_{c0}	Não atingiram f_{c0}	
25	$3040 \leq v < 3680$	25	0			
30	$3680 \leq v < 4340$	30	0			
35	$4340 \leq v < 5030$	35	24	23	1	4,2
40	$5030 \leq v < 5760$	40	38	37	1	2,6
45	$v \geq 5760$	45	1	1	0	0
50		50				
55		55				
60		60				

Quadro 25 – Faixas de variação da velocidade da onda de tensão (v_{ot}) obtidas através de ensaios de ondas de tensão (vigas na umidade de equilíbrio) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.

Classe	$v_{ot, eq}$ (m/s)	f_{c0} (MPa)	Validação (em quant. de vigas)			
			Atingiram velocidade	Atingiram f_{c0}	Não atingiram f_{c0}	Erro (%)
25	$v < 3440$	25	0			
30	$3440 \leq v < 4060$	30	0			
35	$4060 \leq v < 4700$	35	23	22	1	4,3
40	$4700 \leq v < 5390$	40	40	39	1	2,5
45	$v \geq 5390$	45	0			
50		50				
55		55				
60		60				

Quadro 26 – Faixas de variação da frequência (f) obtidas através de ensaios de vibração transversal (vigas na umidade de equilíbrio) e correspondentes resistências atribuídas a cada faixa (f_{c0}). Validação dos resultados das faixas com 20% do universo amostral.

Classe	$f_{, eq}$ (Hz)	f_{c0} (MPa)	Validação (em quant. de vigas)			
			Atingiram velocidade	Atingiram f_{c0}	Não atingiram f_{c0}	Erro (%)
25		25				
30	$f < 10,15$	30	0			
35	$10,15 \leq f < 14,90$	35	13	12	1	7,7
40	$14,90 \leq f < 20,65$	40	43	40	3	7,0
45	$f \geq 20,65$	45	0			
50		50				
55		55				
60		60				

Pelo Quadro 24 nota-se, por exemplo, que na faixa de velocidades entre 4340 m/s e 5030 m/s – resistência mínima de 35 MPa - foram enquadradas 24 vigas. O número de peças que não atingiram a resistência mínima foi igual a 1, o que correspondeu a um erro de 4,2%. Igual interpretação, conduzida para a faixa de velocidade seguinte, o número de peças que ficaram com resistência abaixo do limite de 40MPa incorreram num erro de

2,6%. Nota-se que para a avaliação conduzida nessa condição de umidade, o enquadramento das peças atenderia as respectivas resistências definidas, tendo, segundo o conceito de resistência característica, no máximo 5% das peças com resistência inferior ao valor estipulado.

Análise semelhante, conduzida para as relações de regressão entre a velocidade de propagação das ondas de tensão (Quadro 25) e a resistência à compressão conduz a limites de velocidade de 3440m/s, 4060m/s, 4700 m/s, 5390 m/s e superior a 5390m/s, para as resistências à compressão paralela de 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa, 40 MPa e 45MPa, respectivamente.

Do Quadro 25 observa-se que, nessa nova situação, as faixas de velocidade assumidas permitiram o enquadramento em lotes que atendiam as respectivas resistências definidas, tendo, no máximo 4,3% das peças com resistência inferior ao valor estipulado. Da mesma forma que o anterior, os erros estão em consonância com o conceito de resistência característica.

Do Quadro 26, seguindo a mesma premissa utilizando a frequência de vibração do ensaio de vibração transversal, foi possível enquadrar as faixas de frequência em termos da resistência à compressão e o erro na faixa de 35MPa e 40MPa foi de 7,7% e 7,0% respectivamente. No caso particular da análise das frequências de vibração, o erro foi superior aos 5% e conseqüentemente, não atende aos preceitos da resistência característica.

6.7 Associações entre as grandezas mensuradas – Parte 2

Conforme já comentado, a associação entre a variável y_9 – classe da viga – e as demais variáveis seria estudada a partir da matriz de covariância entre essas variáveis.

Entretanto, a concentração de enquadramento das vigas nas categorias 4 e 5, nas duas condições de umidade, fez com que a transformação de variáveis proposta (y_9 em raiz quadrada de y_9) não fosse efetiva na busca da distribuição normal de seus valores, inviabilizando a avaliação de sua associação com as demais, na forma inicialmente pretendida.

Alternativamente, considerou-se a técnica da análise de variância para estudar as respostas das variáveis dos ensaios (não-destrutivos e destrutivos) em função das classes visuais das vigas (Quadros 27 a 29).

Quadro 27 – Teste de comparação de médias (Tukey) entre as grandezas dos ensaios não-destrutivos, agrupados em classes visuais das vigas (medições com as vigas na condição verde)

Classe visual	Num. de vigas	Dens.	v_{us}	C_{LL}	v_{ot}	E_{d1}	f	E_{d2}
1	3	0,8654 ab	4771 a	19727 a	4558 a	17963 a	14,785 a	16692 a
2	15	0,9195 a	4571 a	19227 a	4362 a	17536 a	14,698 a	16259 a
3	44	0,8741 ab	4439 a	17264 ab	4330 a	16377 a	14,286 a	14823 a
4	95	0,8496 b	4466 a	16944 ab	4332 a	15934 a	14,175 a	14386 a
5	139	0,8797 a	4304 b	16291 b	4182 a	15371 a	13,948 a	14153 a
C.V.		8,16	6,01	12,32	5,68	11,04	6,86	15,93
p-valor		0,0017	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0259	0,0095

Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

Do Quadro 27 nota-se que dentre as grandezas obtidas através dos ensaios não-destrutivos na condição verde, apenas nos ensaios utilizando ultra-som foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as classes visuais. Quando analisada a velocidade de propagação da onda (v_{us}), somente a classe 5 divergiu das demais, enquanto que na avaliação da constante dinâmica (C_{LL}), as classes visuais 1 e 2 foram estatisticamente diferentes da classe 5.

Quadro 28 – Teste de comparação de médias (Tukey) entre as grandezas dos ensaios não-destrutivos, agrupados em classes visuais das vigas (medições com as vigas na umidade de equilíbrio ao ar)

Classe visual	Num. de vigas	Dens.	v_{us}	C_{LL}	v_{ot}	E_{d1}	f	E_{d2}
1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	6	0,7036 a	5252 ab	19426 a	4930 ab	17127 a	16,068 a	15636 ab
3	13	0,6995 a	5100 b	18198 a	4828 b	16309 a	15,647 b	14811 b
4	102	0,6752 a	5339 a	19271 a	5028 a	17100 a	16,174 a	15736 a
5	175	0,6837 a	5167 b	18266 a	4851 b	16101 a	15,781 b	14865 b
C.V.		7,19	5,20	11,16	5,24	11,22	7,17	12,84
p-valor		0,1745	0,0000	0,0012	0,0000	0,0003	0,0601	0,0081

Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

Do Quadro 28, nota-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias das classes visuais da densidade aparente (Dens.), constante dinâmica (C_{LL}) e módulo dinâmico obtido pelo ensaio de ondas de tensão (E_{d1}).

Dentre as grandezas obtidas através dos ensaios não-destrutivos na condição em equilíbrio ao ar, nos ensaios utilizando ultra-som foram observadas diferenças estatisticamente significativas para a velocidade de propagação da onda entre as classes visuais, sendo curiosamente a velocidade da classe visual 4 superior às velocidades observadas nas classes 3 e 5. Nota-se ainda, o mesmo padrão de comportamento, quando analisada a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}), e o módulo dinâmico obtido pelo ensaio de vibração transversal (E_{d2}).

A frequência de vibração (f) apontou diferenças entre as classes 2 e 4 e as classes 3 e 5.

De uma maneira geral, os valores médios obtidos pelas peças enquadradas na classe visual 4 foram superiores aos das demais classes, o que não era esperado, já que numa classificação visual as peças da classe 1, por exemplo, apresentam um grau de comprometimento por meio de defeitos menor do que a classe 2, e assim sucessivamente até a classe 5. Esperava-se, no entanto, que as grandezas acompanhassem esse raciocínio, já que como dito na revisão de literatura, os defeitos afetam a velocidade de propagação da onda de ultra-som, das ondas de tensão e a frequência de vibração.

O grande número de peças que, apesar de apresentarem ausência ou um número reduzido de nós, rachaduras, esmoados ou outros defeitos, mas que de acordo com o código normativo utilizado para a classificação visual, apresentaram torcimento e, portanto, devem ser enquadrados como de 4 ou 5 classe, podem explicar esta superioridade no desempenho da classe 4 sobre as demais. Nessa situação, o torcimento não teria comprometido as velocidades de propagação e frequências de vibração. O torcimento comprometeu a classificação visual, mas não comprometeu alguns parâmetros mecânicos.

O Quadro 29 mostra que não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias das classes visuais quando analisados sob a ótica de ensaios destrutivos de flexão estática (E_M e f_M). No ensaio de compressão paralela às fibras, observou-se diferenças entre as classes 4 e 5, sendo que a classe visual 4 foi a que apresentou maior média (52,46 MPa).

Quadro 29 – Teste de comparação de médias (Tukey) entre as grandezas dos ensaios destrutivos, agrupados em classes visuais das vigas (medições com as vigas na umidade de equilíbrio ao ar)

Classe visual	Num. de vigas	E_M	f_M	f_{c0}
1	0	-	-	-
2	6	18318 a	76,07 a	51,54 ab
3	13	19412 a	64,89 a	49,83 ab
4	102	18560 a	73,93 a	52,46 a
5	175	18466 a	68,98 a	49,74 b
C.V.		19,50	15,81	12,33
p-valor		0,0000	0,0010	0,0065

Numa mesma coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem ao nível de significância de 5% (p-valor > 0,05).

No geral, analisando-se os valores obtidos nos ensaios não-destrutivos e destrutivos, fica claro que o código normativo que trata exclusivamente da classificação visual da madeira de eucalipto penaliza excessivamente as vigas com distorções de forma. De fato, embora no código normativo NBR 14806 (ABNT, 2002) não haja uma definição de dimensões mínimas das peças em relação à espessura, nota-se que os critérios por ele preconizados são mais pertinentes para a classificação de tábuas e do que de vigas, principalmente no que tange à escolha da melhor/pior face, facilmente identificável para tábuas e não para vigas.

Para as vigas ensaiadas não houve prejuízo no desempenho mecânico à flexão, por conta das distorções de forma. Além disso, em grande parte das estruturas com elementos submetidos à flexão, eles apresentam travamentos e confinamentos (os caibros, por exemplo, desempenham essa função para as terças, nos telhados convencionais com estruturas de madeira) que minimizam essas distorções.

6.8 Simulações com o universo amostral das vigas

Conforme já descrito, a simulação compreendeu, num primeiro momento, a geração de 100 lotes de 50 vigas escolhidas aleatoriamente e sem repetição (lotes

50/1 a 50/100), 100 lotes de 100 vigas (lotes 100/1 a 100/100) e 100 lotes de 150 vigas, a partir dos quais foram realizadas todas as análises que se seguem.

6.8.1. Avaliação da homogeneidade dos lotes simulados, com base nas grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos

O Quadro 30 sumariza resultados parciais obtidos na simulação dos 3 primeiros lotes de madeira – com 50, 100 e 150 vigas - e que foram utilizados na análise que se segue.

Conforme já apresentado na revisão bibliográfica, a NBR 7190 (1997) exige, entre outras questões, a avaliação da homogeneidade das rigidezes das peças que compõem um lote, para consideração da madeira como de 1ª. categoria. Contudo, não especifica os critérios que levam à classificação de um lote de madeiras como homogêneo.

Nesse sentido, o código normativo explicita, exclusivamente, que é admitido um coeficiente de variação de 18% para as resistências às solicitações normais (Tabelas E1 e E2 do código normativo).

Partindo-se desse pressuposto e admitindo-se que um lote de madeira com esse coeficiente de variação para solicitações normais é considerado homogêneo, foram avaliados nos 300 lotes simulados os coeficientes de variação das principais grandezas (y_3 , y_5 , y_7 , y_{10} e y_{12}).

No Quadro 31 são apresentados os principais resultados obtidos nessa simulação com os 300 lotes de vigas. Conforme já ressaltado, os lotes 50/1 a 50/100 foram constituídos de 50 vigas cada. De maneira análoga, os lotes 100 e 150 apresentavam, respectivamente, 100 e 150 vigas cada.

A coluna relativa à grandeza y_{12} , hachurada, foi considerada a de referência para as análises.

Conforme se pode observar, todos os 300 lotes simulados seriam considerados homogêneos, pois para todos eles o valor máximo do C.V. da grandeza y_{12} – resistência à compressão paralela - não ultrapassou 18%.

Os coeficientes de variação médios nos lotes das grandezas avaliadas em ensaios não-destrutivos (y_3 , y_5 e y_7) foram inferiores (de 1,7 a 2,3 vezes) aos observados na variável de referência (y_{12}). Com essa constatação pode-se dizer que, no universo amostral

utilizado, os principais parâmetros não-destrutivos avaliados não foram tão sensíveis à variação das características das vigas quanto o foi a resistência à compressão paralela às fibras, obtida em corpo-de-prova delas produzido.

Contrariamente, os coeficientes de variação médios da grandeza y_{10} – módulo de elasticidade à flexão (EM) – resultaram sempre superiores aos observados para a grandeza y_{12} - resistência à compressão paralela às fibras. O valor máximo do C.V. da variável y_{10} para os lotes com 50 vigas foi de 24,17%.

Quadro 30 – Quadro sintético com resultados parciais obtidos na simulação dos lotes de vigas

lotes	n. de vigas sorteadas	identificacao das primeiras vigas sorteadas	densidade (g/cm3)		vel. onda ultra-som (m/s)		vel. onda tensão (m/s)		freq. vibração (Hz)		mod. elastic. flexão (MPa)		resist. comp. paral. (MPa)	
			média	C.V.(%)	média	C.V.(%)	média	C.V.(%)	média	C.V.(%)	média	C.V.(%)	média	C.V.(%)
50/1	50	1A;5A;105A1;26B;37B;91B;44B;20B;50B;56B;12A;64A	0,68	7,49	5239	5,27	4942	5,26	16,11	7,97	18226	19,28	49,71	11,19
50/2	50	110B2;34A;92B;41A;12B;102A4;67A;105B1;69A;78B;1	0,67	7,42	5261	5,50	4961	5,77	15,84	8,66	18326	18,13	51,33	11,92
50/3	50	51A2;83B;58B;101A3;67A;47B;103B1;103A4;18B;13B	0,69	9,06	5223	5,68	4889	5,70	15,72	7,75	18617	18,73	50,09	11,34
100/1	100	35B;42B;57A;54B;33A;18B;10A;101B2;105A2;105B4;4	0,68	6,58	5251	4,83	4937	4,87	15,98	7,38	18296	19,48	50,25	12,78
100/2	100	104B2;51B;3A;108A1;53B2;103A2;95B;63B;72A;39B;1	0,68	6,98	5180	5,77	4877	5,86	15,94	7,54	18436	20,13	51,21	12,49
100/3	100	15A;58A;1B;49A2;63A;102A3;53B2;25A;1A;110A4;67B	0,68	5,86	5220	5,29	4914	5,34	15,94	6,99	18709	17,76	50,73	13,02
150/1	150	54B;108A3;15A;106B2;16B;61A;80B1;106A1;60B;84B	0,69	7,55	5225	5,51	4915	5,35	15,98	7,10	18901	19,64	51,37	12,09
150/2	150	22B;108A4;26B;60A;110B1;8B;6B;94A1;87A;110A4;10	0,68	7,82	5212	5,45	4906	5,41	15,94	7,36	18367	20,90	50,26	12,62
150/3	150	102A1;80A2;88A;74A;61B;5A;70B;109A1;23B;17A2;19	0,68	6,69	5225	4,91	4919	5,01	16,05	6,99	18195	21,11	50,68	12,35

Quadro 31 – Valores característicos do coeficiente de variação (%) de grandezas obtidos a partir de simulação computacional de 300 lotes de vigas madeira.

lotes	valores característicos do C.V. (%)	grandezas avaliadas				
	para as grandezas avaliadas	y12	y3	y5	y7	y10
50/1 a 50/100	valor médio	12,51	5,41	5,48	7,38	19,41
	valor mínimo	9,05	4,46	4,20	5,74	14,91
	valor máximo	15,79	6,68	6,65	8,84	24,17
	dif. entre mínimo e máximo	6,74	2,22	2,45	3,10	9,26
100/1 a 100/100	valor médio	12,52	5,39	5,49	7,24	19,40
	valor mínimo	10,59	4,55	4,70	6,12	15,93
	valor máximo	13,89	6,06	6,11	8,08	22,79
	dif. entre mínimo e máximo	3,30	1,51	1,40	1,97	6,85
150/1 a 150/100	valor médio	12,55	5,36	5,43	7,22	19,50
	valor mínimo	10,98	4,90	4,93	6,41	17,67
	valor máximo	13,82	5,72	5,89	8,02	21,28
	dif. entre mínimo e máximo	2,84	0,82	0,96	1,60	3,61

Notas:

- y3 - velocidade de propagação da onda de ultra-som
- y5 - velocidade de propagação da onda de tensão
- y7 - frequência de vibração da viga
- y10 - módulo de elasticidade à flexão
- y12 - resistência à compressão paralela (c.p. retirados das vigas)

Assim, a avaliação da homogeneidade de lotes a partir da rigidez das vigas que o compõem não poderia ser feita com a extensão do valor esperado para o coeficiente de variação das resistências às solicitações normais (C.V. = 18%). O item 6.4.4 do código normativo (ABNT, 1997), que trata especificamente do assunto, necessitaria da definição de valores-limite para o coeficiente de variação da rigidez ou da definição de dispersões máximas de rigidezes (um desvio-padrão, dois desvios-padrão, por exemplo) para o lote.

Observa-se, ainda, que para todas as grandezas o C.V. da grandeza diminui de amplitude (diferença entre o mínimo e o máximo) na medida em que o lote aumenta em tamanho.

As associações entre os coeficientes de variação da grandeza y12 (resistência à compressão paralela às fibras) e os coeficientes de variação para as variáveis y3 (velocidade de propagação da onda de ultra-som), y5 (velocidade da onda de tensão), y7 (frequência de vibração da viga) e y10 (módulo de elasticidade à flexão) foram também estudadas pelo coeficiente de correlação de Pearson. Nenhuma resultou com significância estatística.

A Figura 17 ilustra, para os 300 lotes simulados, a dispersão dos valores do coeficiente de variação da resistência à compressão paralela às fibras (y_{12}) em relação às dispersões dos valores da velocidade de propagação da onda de ultra-som (Figura 1a) e do módulo de elasticidade à flexão (y_{10}).

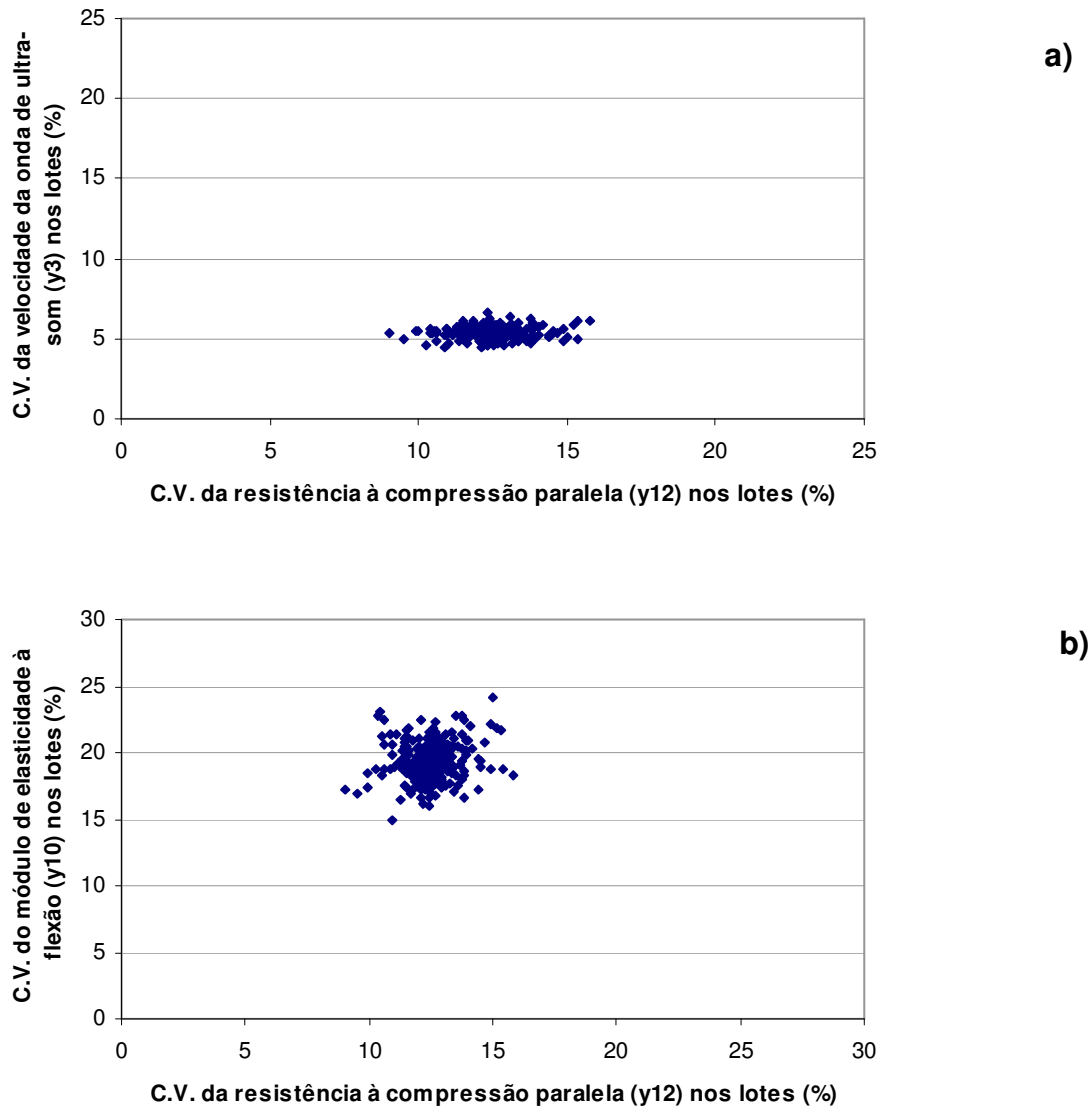


Figura 17 – Dispersão dos valores do coeficiente de variação da resistência à compressão paralela às fibras nos lotes, em relação às dispersões dos coeficientes de correlação da velocidade de propagação das ondas de ultra-som (a) e módulo de elasticidade à flexão (b).

Com os resultados apresentados na Figura 17, fica clara a dificuldade de analisar a homogeneidade de lotes de madeira a partir da velocidade das ondas de ultra-som. Comportamento semelhante foi observado para a velocidade de propagação das ondas de tensão e para as frequências de vibração das vigas – ensaio de vibração transversal.

6.8.2. Avaliação dos erros de classificação das vigas em classes de resistência com base nas grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos

O Quadro 32 sumariza resultados parciais obtidos na simulação dos lotes 4 a 6 – com 50, 100 e 150 vigas - e que foram utilizados na análise que se segue.

Para cada um dos lotes simulados foi calculada a resistência característica do lote ($f_{c0,k}$), sorteando-se 12 corpos-de-prova do lote e utilizando-se o estimador do valor característico (ABNT, 1997, item 6.4.8, p. 18).

Esse valor foi assumido como de referência de cada lote e, a partir dele foi calculado o erro 1 – número de vigas no lote que não atendiam essa resistência mínima característica do lote. Assim, por exemplo, a partir do Quadro 31, para o lote 50/4 ($f_{c0k}=40\text{MPa}$), o erro 1 resultou em 2%, ou seja, 2% das vigas do lote (portanto 1 viga em 50) não atingiu a resistência característica do lote.

O erro 2 foi calculado utilizando-se as faixas de velocidade de ultra-som, estabelecidas com a metodologia descrita no item 5.3.3. Para cada uma das vigas do lote a velocidade de propagação da onda de ultra-som, mensurada na condição de madeira em equilíbrio, era enquadrada dentro das faixas pré-definidas e à madeira da viga era atribuída a resistência à compressão paralela correspondente àquela faixa. Essa resistência era, por fim, comparada com a avaliada no corpo-de-prova produzido a partir da viga (y_{12}). Quando a resistência atribuída pela faixa de velocidade não atingia a resistência avaliada no corpo-de-prova, contabilizava-se um erro no lote. A contagem de erros foi estendida a todo o lote, de tal forma que, conforme se observa no Quadro 32, para o lote 50/5 houve 4% de erro, ou seja, 4% das vigas do lote (portanto 2 vigas em 50) não atingiu a resistência que o ultra-som inferiu através da velocidade.

Quadro 32 – Quadro sintético com resultados parciais obtidos na simulação dos lotes de vigas para análise dos erros de classificação

lote	n. de vigas sorteadas	identificacao das primeiras vigas sorteadas no lote	resist. comp. paral. Lote		f _{c0k} lote ⁽¹⁾ (MPa)	erros de classificação a partir do parâmetro abaixo					
			média (MPa)	C.V. (%)		fc0k erro 1 ⁽²⁾ (%)	vus, eq. erro 2 ⁽³⁾ (%)	vot, eq. erro 3 ⁽⁴⁾ (%)	f, eq. erro 4 ⁽⁵⁾ (%)	vus,projeto norma erro 5 ⁽⁶⁾ (%)	vus, sat erro 6 ⁽⁷⁾ (%)
50/4	50	32A;108A3;50A1;17B1;110A3;42B;8B;15A;105A3;7	51,67	12,21	40	2,00	2,00	2,00	2,27	42,00	2,00
50/5	50	110A1;20A1;6A;24A;1B;51A2;53A1;49B;12A;61A;6	50,64	11,47	40	6,00	4,00	4,00	4,35	24,00	6,00
50/6	50	56B;1A;19B1;97A;43B;53A2;75B;36A;40B;11A2;96	49,97	12,75	40	6,00	2,00	2,00	2,08	48,00	6,00
100/4	100	101B2;94A1;109B1;105A1;103A2;54B;57B;69B;79A	50,16	12,75	40	5,00	4,00	4,00	3,30	38,00	6,00
100/5	100	38B;35A2;78B;16B;102A7;107A4;49A2;104B3;53A	50,67	10,86	40	3,00	2,00	2,00	1,18	39,00	3,00
100/6	100	82B;84B;83B;85B;105B4;54B;75B;79B;108A1;99B;5	50,68	12,24	40	3,00	2,00	2,00	2,17	38,00	3,00
150/4	150	2B;89B;31A1;104A1;108A3;73B;102A6;101A5;101A	51,01	12,76	40	5,33	3,33	3,33	2,99	40,00	5,33
150/5	150	35B;36A;39B;50A1;105A2;23B;100A;16A2;104A1;4	50,74	12,84	40	6,00	5,33	5,33	4,51	38,00	6,00
150/6	150	107A4;101B1;20A1;104A2;79B;16B;80B2;108A2;10	50,07	12,47	40	4,00	3,33	3,33	3,01	40,00	4,00

Notas:

- 1) f_{c0k} lote - resistência característica do lote calculada com expressão da NBR 7190 para 12 corpos-de-prova sorteados no lote
- 2) erro 1 - calculado a partir de f_{c0k} do lote para todas as vigas sorteadas no lote
- 3) erro 2 - calculado pelas faixas de velocidade da onda de ultra-som, determinadas com a madeira na umidade de em equilíbrio
- 4) erro 3 - calculado pelas faixas de velocidade da onda de tensão, determinadas com a madeira na umidade de em equilíbrio
- 5) erro 4 - calculado pelas faixas de frequência de vibração, determinadas com a madeira na umidade de em equilíbrio
- 6) erro 5 - calculado pelas faixas de velocidade da onda de ultra-som estabelecidas pelo projeto de norma para a madeira na condição verde
- 7) erro 6 - calculado pelas faixas de velocidade da onda de ultra-som, determinadas (neste trabalho) com a madeira na condição verde

Da mesma forma como explicado no parágrafo anterior, foram contabilizados os erros 3 e 4 considerando-se, respectivamente, as faixas de velocidades de ondas de tensão e as frequências de vibração das vigas.

Com metodologia semelhante, os erros 5 e 6 foram inferidos a partir da velocidades de ondas de ultra-som mensurada na condição de madeira verde. No caso do erro 5 utilizaram-se as faixas de enquadramento da velocidade reportadas no Quadro 6 (ABNT, 2007) e para o erro 6 foram utilizadas as faixas de enquadramento da velocidade estabelecidas neste trabalho.

No Quadro 33 são apresentados os principais resultados obtidos nessa simulação.

Quadro 33 – Valores característicos dos erros na estimativa da resistência dos lotes simulados

lotes	valores característicos do erro (%) para as grandezas avaliadas	grandezas avaliadas					
		erro 1	erro 2	erro 3	erro 4	erro 5	erro 6
50/1 a	valor médio	4,18	3,26	3,26	3,54	37,46	3,34
50/100	valor mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00
	valor máximo	12,00	10,00	10,00	12,50	54,00	10,00
	n. de lotes com erro superior a 5% (de um total de 100 lotes)	38	21	21	17	100	24
100/1	valor médio	3,79	3,20	3,20	3,36	37,05	3,20
100/100	valor mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	0,00
	valor máximo	8,00	7,00	7,00	6,90	49,00	7,00
	n. de lotes com erro superior a 5% (de um total de 100 lotes)	20	7	7	21	100	9
150/1 a	valor médio	4,14	3,56	3,56	3,67	37,59	3,55
150/100	valor mínimo	0,00	1,33	1,33	0,76	28,67	0,67
	valor máximo	7,33	6,00	6,00	6,25	44,00	6,00
	n. de lotes com erro superior a 5% (de um total de 100 lotes)	33	12	12	13	100	12

Evidentemente, o referencial inicial de análises foi o erro 1, cometido quando da utilização do estimador da NBR 7190 (ABNT, 1997) para o lote. Pela definição de resistência característica do lote (baseada na análise do quantil inferior de 5%) deve-se contabilizar somente os lotes com erro superior a 5%.

À partir do Quadro 33, observa-se que para os lotes com 50 vigas, o erro 1 resultou em 38%, ou seja, em 38 lotes dos 100 amostrados, as vigas obtiveram mais de 5% das vigas sem atingir a resistência característica do lote, o que pode ser considerado um valor alto. Portanto, a norma NBR 7190 erra também quando infere resistência do lote a partir de uma amostra.

Os erros referentes à velocidade da onda de ultra-som (erro 2) e à velocidade de propagação das ondas de tensão (erro 3), para os lotes com 50 vigas, obtiveram um índice de erro superior a 5% em 21% dos lotes. O mesmo comportamento fora observado quando analisados os lotes com 100 e 150 vigas, com 7% e 12%, respectivamente de erro.

Quando analisada a frequência de vibração o erro, no geral, foi superior ao observado nos ensaios de ultra-som e ondas de tensão, principalmente nos lotes com 100 vigas, que ficou em torno de 21%.

Os erros referentes à velocidade da onda de ultra-som na condição verde (erro 6) foram ligeiramente superiores à velocidade da onda na condição de equilíbrio (erro 2).

O erro 5, com base nos intervalos propostos no projeto de norma ABNT (2007), resultou em erros bastante elevados em todos os 3 lotes de vigas analisados (50, 100 e 150). Tal fato parece indicar que as faixas de variação da velocidade de ultra-som são muito particulares para um universo amostral. As faixas estipuladas funcionaram para o universo do programa experimental. Talvez também não funcionassem para o universo amostral base do código normativo proposto pela ABNT (2007).

No geral, observou-se que o desempenho utilizando as faixas de velocidade do ultra-som e das ondas de tensão foi satisfatório, porém, parece aplicável somente a este universo amostral, sendo impossível garantir a extensão dessas faixas para outros universos amostrais. Além disso, para se adequar às necessidades de nosso universo, as faixas foram restritivas: dizer que velocidade acima de 5760 m/s garante resistência mínima de 45MPa é restritivo demais. Para outros universos, velocidades acima desse valor podem seguramente atingir 60 MPa, como aconteceu com o universo amostral base da norma de classificação por ultra-som (ABNT, 2000).

7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no programa experimental e atendendo aos objetivos deste trabalho podem-se extrair as seguintes conclusões principais:

- Os ensaios não-destrutivos mostraram sensibilidade na classificação de peças de dimensões estruturais da madeira serrada de *Eucalyptus* quando enquadradas em faixas de velocidade de propagação das ondas de ultra-som, de ondas de tensão e de frequência de vibração, tanto na condição verde quanto na condição de umidade de equilíbrio ao ar.
- Os ensaios não-destrutivos não mostraram sensibilidade na avaliação da homogeneidade de lotes de madeira serrada a partir da rigidez das vigas com a extensão do valor esperado para o coeficiente de variação das resistências às solicitações normais.
- Não houve, no geral, associação com correlações fortes ($R > 0,85$) entre as grandezas avaliadas nos ensaios não-destrutivos e nos ensaios convencionais destrutivos.
- A associação entre as classes visuais atribuídas às vigas e as grandezas mensuradas nos ensaios não-destrutivos não pode ser analisada pela matriz de covariância entre as grandezas, considerando-se, sobretudo, a dificuldade na obtenção da normalidade de distribuição dos valores das classes visuais atribuídas às vigas .
- A classificação de peças de madeira serrada de *Eucalyptus* em classes de resistência pode ser conduzida através de ensaios não-destrutivos, tanto na condição verde como na condição de equilíbrio ao ar. A avaliação da velocidade de propagação da onda de ultra-

som e da velocidade das ondas de tensão na condição de equilíbrio ao ar, permitiram o enquadramento das peças em classes de resistência que atenderiam o conceito de resistência característica, de no máximo 5% das peças com resistência inferior ao valor estipulado.

- Dos ensaios não-destrutivos a única grandeza mensurada que se mostrou sensível à presença de defeitos em peças de eucalipto de dimensões estruturais foi a velocidade de propagação de ondas de ultra-som. Neste caso particular a diferenciação só ocorreu entre as classes visuais extremas (classe 5 e demais, para madeira verde; classe 4 e demais, no caso de madeira na umidade de equilíbrio ao ar).
- A avaliação da homogeneidade de lotes a partir da rigidez das vigas que o compõem não pode ser feita com a extensão do valor esperado para o coeficiente de variação das resistências às solicitações normais (C.V. = 18%). O item 6.4.4 do código normativo (ABNT, 1997), que trata especificamente do assunto, necessitaria da definição de valores-limite para o coeficiente de variação da rigidez ou da definição de dispersões máximas de rigidezes (um desvio-padrão, dois desvios-padrão, por exemplo) para o lote.

Do programa experimental ainda podem ser compiladas as seguintes conclusões:

- Houve efeito do clone sobre todas as grandezas mensuradas nas vigas de madeira serrada de *Eucalyptus*.
- Os padrões de variância estatisticamente significativas apontaram uma superioridade dos clones 2486, 1288 e 1270 (11anos) sobre os demais e um fraco desempenho do clone 102 quando avaliados através de métodos não-destrutivos na condição verde.
- Os ensaios não-destrutivos na condição de equilíbrio ao ar apontaram melhor desempenho dos clones 1270 (11anos) e 2486 sobre os demais, quando analisadas à velocidade de propagação e a frequência de vibração. A mesma análise, conduzida com os valores das constantes dinâmicas e dos módulos dinâmicos, apontou a superioridade de desempenho dos clones 1288 e 1270 (11anos).

- Os ensaios de flexão indicaram uma superioridade do clone 1288 sobre os demais, assim como no ensaio convencional destrutivo de compressão paralela, somando-se a ele, os clones 1270 (11anos), 1187 e 3301.
- Não foram verificadas correlações fortes (acima de 85%) e significativas ao nível de significância de 5% (p-valor < 0,005) entre as variáveis estudadas nas vigas na condição de umidade verde. Ocorreram boas correlações (acima de 70%) e significativas a um nível de significância de 5% (p-valor < 0,001) entre a velocidade da onda de ultra-som (v_{us}) e a constante dinâmica (C_{LL}) e a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}) – entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}) – e finalmente entre a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}).
- Na condição de equilíbrio ao ar ocorreram correlações fortes (acima de 85%) e significativas a um nível de significância de 5% (p-valor < 0,005) entre a velocidade da onda de ultra-som (v_{us}) e a velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}) – entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}) – entre a constante dinâmica (C_{LL}) e o módulo dinâmico obtido pelo método da vibração transversal (E_{d2}) e finalmente entre o módulo dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão (E_{d1}) e módulo dinâmico obtido pelo método da vibração transversal (E_{d2}).
- Os resultados obtidos na simulação dos lotes – com 50, 100 e 150 vigas – apontaram que o desempenho utilizando as faixas de velocidade do ultra-som e das ondas de tensão foi satisfatório, porém, parece aplicável somente a este universo amostral, sendo impossível garantir a extensão dessas faixas para outros universos amostrais.

Na continuidade deste trabalho entende-se como prioritária a repetição deste programa experimental, avaliando madeira de árvores de eucalipto com idades entre 20 e 25 anos, que apresentam grande potencial para uso em serraria.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Classificação de madeira serrada para folhosas* (NBR 9487). Rio de Janeiro: ABNT, 1986, 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de madeira* (NBR 7190). Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Madeira serrada de eucalipto - Requisitos* (NBR 14806). Rio de Janeiro: ABNT, 2002, 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Ensaio não destrutivo – Ultrassom - Classificação mecânica de madeira serrada de dicotiledôneas* (Projeto NBR 58 000 10 001). Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 8 p. (Projeto de norma)

ASTM D-245-93. Standard Methods for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visual Graded Lumber. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

BALLARIN, A.W. *Dormentes de madeira: a necessidade de uma revisão normativa*. In: Congresso Internacional de Material Rodante, Via Permanente e seus Acessórios, 1996. Anais. CB-06/ABNT, 1996.

BALLARIN, A.W.; FRANCO, N.; YOJO, T.. *Calificación de maderas brasilenãs nativas y de reforestacionas para durmientes*. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 1998, VALDÍVIA-CHILE. ACTAS (CD-ROM). VALDÍVIA: IUFRO, 1998.

BALLARIN, A.W. *Desempenho mecânico de dormentes prismáticos de Eucalipto citriodora (E.citriodora)*. Botucatu, FCA/UNESP, 1999, 204 p. Tese (Livre – docência em Propriedades mecânicas e estruturas de madeira), Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 1999.

BALLARIN, A.W.; ROCHA, R.R., LARA PALMA, H.A. Estimativa da resistência característica à compressão paralela às fibras da madeira com uso de ensaios de ultra-som. In: CIMAD'04 – Congresso Ibérico: a madeira na construção, 1, 2004, Guimarães. Anais...Guimarães: Universidade do Minho, 2004. p.317-324.

BARTHOLOMEU, A., GONÇALVES, R., HERNÁNDEZ, R.E. Montagem de equipamento para ensaios não-destrutivos em madeira utilizando ultra-som. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 6, 1998, Florianópolis, SC. Anais...Florianópolis: IBRAMEM, 1998, v.4, p.345-354.

BARTHOLOMEU, A. Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som. 2001. 75p. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

BARTHOLOMEU, A., GONÇALVES, R. Método para classificação de vigas de madeira de dicotiledôneas utilizando ultra-som. In: Seminário sobre a aplicação de Ensaios Não-Destrutivos na Madeira e em Materiais a Base de Madeira, 1, 2006, Itatiba, SP. Anais...Itatiba: ABENDE, 2006.

BECHTEL, F.K; ALLEN, J.R. Methods of implementing grain angle measurements in the machine stress rating process. Proc. 6th Symp. Nondestructive Testing of Wood. Washington State University, Pullman, 303-353. 1987.

BELL, E.R.; PECK, E.C., KRUEGER, N.T. *Youngs modulus of elasticity of wood determined by dynamic methods*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1950 (Report 1775).

BENJAMIN, C.A. Estudo da estrutura anatômica E das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis*. Botucatu, UNESP, 2006, 158 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. *Mechanics of wood and wood composites*. Malabar: Krieger, 712p. 1993.

BRASIL, I.B.D.F. NORMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE FOLHOSAS. Brasília: Brasiliiana, 1983.67p.

BROWN, M.J; McWILLIAMS, W.H. Pine Stands Across the South - Trends and Projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, 1989, Athens. Proceedings... Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture. p.1-15, 1990.

BUCUR, V. Ondes ultrasonores dans le bois. Caracterisation mécanique et qualité de certaines essences de bois. 188p. Thèse (Doctorat en Génie Mécanique) – Institut Supérieur des matériaux et de la Construction Mécanique, Saint-Quen, France, 1984.

BUCUR, V; PERRIN, J.R; Ultrasonic waves-wood structure interaction. In Proc. Inst. Acoust. Acoustics'88, Vol. 10, Part 2, University of Cambridge, UK., April 5 to 8. p.199-206. 1988.

BUCUR, V. Acoustics of Wood. CRC Press, Inc. 1995. 284p.

CALIL JÚNIOR, C.; MINÁ, A.J.S. Vibração transversal: um método eficiente para classificação de peças estruturais de madeira. *Rev. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.2, p. 335-338, 2003.

CALONEGO, F.W. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia forestalis*. n. 68, p.113-121. 2005.

CARREIRA, M.R. Critérios para classificação visual de peças estruturais de Pinus sp. 2003. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - CIRAD-Foret - Programme Bois - Documentos técnicos de divulgação do BING, France, 1998.

COLENCI, A. R. *Qualificação mecânica de madeiras para uso como dormente ferroviário*. Botucatu, UNESP, 2002, 90 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2002.

COLENCI, A. R. *Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário*. Botucatu, UNESP, 2006, 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

COWN, D.J. Corewood (Juvenile wood) in Pinus radiata –shoul we be concerned?. *New Zealand Journal of Forestry Science*, v.22, n.1, p.87-95. 1992.

DADSWELL, H. E. Tree growth-wood property inter -relationships. In: *Special Field Institute in Forest Biology - Proceedings*. p. 3-86, 1960.

DIEULESAINT, E; ROYER, D. Ondes élastiques dans les solides. Masson et Cie, Paris. 1974

DOYLE, D.V.; MARKWARDT, L.J. *Properties of Southern Pine in relation to strength grading of dimension lumber*. Research Paper FLP 64, Forest Products Laboratory, 1996

EVANS, J.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Prod. J*, v.50, n.7/8, p.75-87. 2000.

FERRAND, J.C. Growth stresses and silviculture of Eucalyptus, Australian Forest Research, Melbourne, v. 13, n.1, p. 75-81, 1983.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; GARCIA, W.; BRITO, J.O. Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. *IPEF*, Piracicaba, n. 12, p. 127-142, 1976.

FURIATTI, M. Classificação estrutural de peças de madeira. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 1981.

FUSCO, P.B. O estabelecimento de valores de cálculo para o dimensionamento das estruturas de madeira pelo método dos estados limites. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, 1992, São Carlos. Anais ... São Carlos: LaMEM, EESC, USP, 1992.

GABRIEL, M.S.C.; BALLARIN, A.W. Determinação do módulo de elasticidade da madeira de P. taeda com uso do método não-destrutivo das ondas de tensão. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos. Anais ... São Carlos: LaMEM, EESC, USP, 2000.

GALLIGAN, W.L.; MCDONALD, K.A. Machines grading of lumber – Practical concerns for lumber producers. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-7 USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI. 39p, 2000.

GEIMER, R.L.; HERIAN, V.L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. *Wood and Fiber Science*, v.29, n.2, p.103-120. 1997.

GERHARDS, C.C. Effect of cross grain on stress waves in lumber. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1981 (Res. Pap. FPL-RP-368).

GERHARDS, C.C. Effect of knots on stress waves in lumber. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1982 (Res. Pap. FPL-RP-384).

GREN, D.W.; HERNANDEZ, R. Standards for Structural Wood Products and Their Use in the United States. *Wood Design Focus*, V.9, n.2, p.3-12. 1998.

GREN, D.W.; KRETSCHMANN, D.E. Wood handbook. Wood as an engineering material – Chapter 6 – Lumber Stress Grades and Design Properties. Was, D.C. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1999.

GONÇALVES, R.; BARTHOLOMEU, A. Avaliação do desempenho de ensaio não destrutivo em vigas de madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande (PB), v.4, n.2, p.269-274, 2000.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. Forest Products and wood science: An Introduction. 2ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 500p, 1995.

HELLMEISTER, L.A.V. *Aplicação do método das ondas de tensão na caracterização mecânica de toras, pranchas e tábuas de Pinus taeda L.* Botucatu, UNESP, 2003, 164p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

HERZIG, L. Evaluation du module d'Young de bois d'épinette par méthode ultrasonore sur carottes de sondage. 290p., M.Sc. Thesis (Géne Forestière), Faculté de Foresterie et de Géomatique, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec, Canada. 1992.

HOLMBERG, H. Influence of grain angle on Brinell hardness of Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Holz als Roh-und Werkstoff*, v.58, p. 91-95, 2000.

JANKOWSKY, I.P. Programas de secagem: fundamentos teóricos e sua aplicação para madeira *Pinus* spp. *Silvicultura*, Piracicaba, v.34, n.9, p.21-23, 1984.

JAYNE, B.A. Vibrational properties of wood as indices of quality. *Forest Prod. J.*, Madison, v. 9, n.11, p. 413-416, 1959.

KAISERLIK, J.H.; PELLERIN, R.F. Stress wave attenuation as an indicator of lumber strength. *Forest Prod. J.*, Madison, v. 27, n.6, p. 39-43, 1977.

KESSEL, M. H.; SANDOZ, J.L. Zur Effizienz der Festigkeitssortierung von Fichtenkantholz. Teil 1. Vergleich europäischer Normen. 1989. *Holz als Roh- und Werkstoff* 47:279-289

KOUBAA, A.; HERNANDEZ, R.; BEAUDOIN, M.; FOURTIN, Y., POLIQUIN, J., 1997 – Nondestructive evaluation of physical, mechanical and anatomical properties of fast growing poplar hybrid clones. Proceedings CTIA/UFRO International wood quality workshop “Timber management toward wood quality and end-product value”

KRETSCHMANN, D.E. Effect of juvenile wood on shear parallel and compression perpendicular-to-grain strength for loblolly pine. In: CTIA/IUFRO INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1997, Quebec. Proceedings...Quebec: Forintek Canada. p.23-30. 1997.

KRAHMER, R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS, 1985, Washington. Proceedings... Madison: Forest Products Research Society, 1986. p.12-16.

KRETSCHMANN, D.E.; BENDTSEN, B.A. Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation loblolly pine lumber. *Wood and Fiber Sci*, v.24, n. 2, p.189-203. 1992.

LISBOA, C.D.J. Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. 1993. 298 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MACHADO, J. M. R. S. (2000). Avaliação da variação das propriedades mecânicas de pinho bravo (*Pinus pinaster* Ait.) por meio de ultra-sons. Lisboa, 265p. Tese (Doutorado) – Universidade Técnica de Lisboa.

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

McALISTER, R.; CLARK, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature loblolly pine. *Forest Prod. J.*, Madison, v. 41, n.9, p.39-41. 1991.

McALISTER, R.; CLARK, A.; SAUCIER, J. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned slash pine at age 40. *Forest Prod. J.*, Madison, v. 47, n. 7/8, p.107-109. 1997.

MELO, J.M. Classificação mecânica de peças estruturais de madeira. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 1984.

MEYER, D.C. Acurácia de dois métodos não-destrutivos na avaliação do módulo de elasticidade longitudinal da madeira de *Pinus taeda* L.. Relatório final de pesquisa (iniciação científica - FAPESP). FCA/UNESP: Botucatu, 2004. 55p.

MIOTTO, J. L. Avaliação dos critérios de dimensionamento para peças comprimidas e flexocomprimidas de madeira. 2003. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.

MUNERI, A.; KNIGHT, J.; LEGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 years old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In IUFRO CONFERENCE – THE FUTURE EUCALYPTUS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceton, Australia, Proceedings ..., Launceton, IUFRO, 2000. p. 292-300.

MURPHY, J.F. Commentary on factors affecting transverse vibration using an idealized theoretical equation. Madison: Forest Products Laboratory, 2000. 4p. Research Note

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A. W. Correlações entre módulos de elasticidade estático (flexão) e dinâmico (ultra-som) para algumas espécies de Eucalipto In. CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2, 2002, Curitiba. *Anais ...* Curitiba: UFPR, 2002. (editado em CD-ROM).

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. *Sensibilidade dos ensaios de ultra-som à ortotropia elástica da madeira*. In: CONFERÊNCIA PAN-AMERICANA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS (PANNDT), 3, 2003. Rio de Janeiro. Proceedings ... Rio de Janeiro: ABENDE, 2003.1 CD-ROM.

NOGUEIRA, M. Determinação de módulos de elasticidade à compressão da madeira de *Pinus taeda* L. com uso de ultra-som. Botucatu, UNESP, 2003, 144 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

OKIMOTO, F.S.; PFISTER, G.M.; CALIL, C. Classificação visual e mecânica de madeiras estruturais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, 1995, Belo Horizonte. Anais ... Belo Horizonte:, UFMG, 1995.

OLIVEIRA, F. G. R. Caracterização de propriedades físicas de dicotiledôneas por meio de técnicas de ultra-som. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (SP), 2001.

OLIVEIRA, F.G.R. Contribuição ao estabelecimento de parâmetros para ensaios não-destrutivos em madeira serrada por meio de ondas de ultra-som. 2005. 91p. Tese (doutorado em Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos (SP).

OLIVEIRA, F.G.R.; CANDIAN, M.; SALES, A. Influência do teor de umidade e da densidade da madeira na velocidade ultra-sônica. In: Seminário sobre a aplicação de Ensaio Não-Destrutivos na Madeira e em Materiais a Base de Madeira, 1, 2006, Itatiba, SP. Anais...Itatiba: ABENDE, 2006.

OLIVEIRA, J.T.S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. 1997. 429 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PERSTORPER, M. Dynamic modal tests of timber evaluation according to the Euler and Timoshenko theories. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON Nondestructive testing of wood, 9, 1993, Pullman, WA. Proceedings ... Pullman, WA: Washington State University, p.45-54.

PIGOZZO, J.C.; PLETZ, E.; ROCCO LAHR, F.A. Aspectos da classificação mecânica de peças estruturais de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos. Anais ... São Carlos: LaMEM, EESC, USP, 2000.

PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA. 1995, São Paulo. Anais ... São Paulo: IPT.

PUCCINI, C.T. Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som. 72p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Construções Rurais e Ambiente). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas. 2002.

ROCHA, R.R. *Avaliação não-destrutiva de madeiras para dormentes ferroviários*. Botucatu, UNESP, 2003, 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

ROSS, R.J. Stress wave propagation in wood products. In: NON DESTRUCTIVE TESTING OF WOOD SYMPOSIUM, 5, 1985, Pullman, WA. *Proceedings* Pullman, WA: Washington State University, 1985. p. 291-318.

ROSS, R. J.& PELLERIN, R.F. *Nondestructive testing for assessing wood members in structures*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. (General Technical Report FPL-GTR 70).

ROSS, R. J.; WANG, X.; MATTSON, J. A.; ERICKSON, J. R.; FORSMAN, J. W.; GESKE, E. A.; WEHR, M. A. (2000). Comparison of several nondestructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small diameter logs. In: XII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD. *Proceedings*. Hungary, Sopron. p. 155-163.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 63, p. 32-43, 2003.

SANDOZ, J.L. Grading of Construction timber by ultrasound. *Wood Science and Technology*, 23(2), 95-108, 1989.

SANDOZ, J. L. Triage et fiabilité des bois de construction. 186p. Thèse (Doctorat en Sciences Techniques) – Département de Génie Civil, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Suisse, 1990.

SANDOZ, J. L. Form and treatment effects on conical roundwood tested in bending. *Wood. Sci. Technol.* 25(3), 203-214. 1991.

SEVERO, E.T.D. *A secagem da madeira de eucalipto e seus desafios*. In: CICLO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA DO SETOR MADEIREIRO, 2, 2007, Jerônimo Monteiro. Anais... Jerônimo Monteiro: UFES, 2007.

SILVA, D.A. da; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se metodologia de análises de imagem submetida a diferentes temperaturas. *Revista Cerne*, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.

TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; SOUZA, M. A. M. Tensões de crescimento: recentes experiências com medições não destrutivas. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 2002, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 2002. p. 125-134.

USDA – United States Department of Agriculture – Wood handbook: wood as an engineering material. Madison: FPL, 474p. 1999.

WANG, X.; ROSS, R.J.; ERICKSON, J.R.; FORSMAN, J.W., McCLELLAN, M.; BARBOUR, R.J.; PELLERIN, R.F. In 12th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 2000, *Proceedings...* University of Western Hungary, Sopron, 13-15 September 2000. p. 197 – 206.

WANG, X., ROSS, R.J.; MATTSON, J.A., ERICKSON, J.R.; FORSMAN, J.W.; GESKE, E.A.; WEHR, M.A. *Comparison of several non-destructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small-diameter logs*. Research Paper. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2001.

WANG, X.; ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; ERICKSON, J.R.; FORSMAN, J.W.; PELLERIN, R. Diameter effect on stress wave evaluation of modulus of elasticity of logs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD. **Abstracts...** Berkeley, USA. 2002.

WAUBKE, N. V. Grundsätzliche Untersuchungen zur Eignung der Ultraschallimpulslaufzeitmessungen als vereinfachte und genauere Methode zur KLASSIFIKATION VON bauhölzern. 56p. Institut für Baustoffkunde und Bauphysik der Hochschule der Bundeswehr München, Deutschland, 1981.

WILKINS, A. P. Nature and origin of growth stresses trees. Australian Forestry, Melbourne, v.49, n.1, p. 56-62, 1986.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. VAN. Wood variation: its causes and control. Springer-Verlag, Berlin. 361p. 1989.

**ANEXO A – Classificação visual dos defeitos
Vigas no estado verde**

Viga	Empenamentos				Bolsa goma veio kino	Arqueam. (mm/m)	Encançam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim.	Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE
	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)						espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)										
28A	118,31	60,05	280,00	3312,68														156,85			186,79	5
28B	118,02	56,81	280,00	3304,63					sim									193,11		59,50	60,00	4
29A	118,62	56,18	280,00	3321,29														172,94			91,07	3
29B	117,79	52,93	280,00	3298,19		1,4												123,76	68,98			4
31A1	97,89	56,26	280,00	2740,99					sim									32,38		19,72	77,86	4
31B	79,81	56,57	240,00	1915,32					sim									49,29	33,87			4
32A	103,53	56,20	280,00	2898,91					sim									111,70	21,87	40,97	79,29	4
32B	117,63	56,33	280,00	3293,57					sim									128,25			76,07	4
33A	97,74	58,81	240,00	2345,70					sim	38,8	69,6	46,9									202,92	5
33B	109,86	55,57	240,00	2636,58					sim	31,6	90,1	37,8						90,89				4
34A	109,66	55,94	280,00	3070,34					sim									46,94			129,64	4
34B	114,21	59,82	280,00	3197,95						28,1	79,7	41,8						49,95			55,00	4
35A1	109,21	56,44	280,00	3057,74														190,44			478,57	5
35A2	108,86	53,42	280,00	3048,01					sim	8,3	89,1	48,4			sim			199,77				5
35B	114,81	59,78	280,00	3214,68					sim									148,02			102,50	4
36A	99,07	56,77	240,00	2377,56					sim	38,3	78,7	33,8						29,84				4
36B	82,50	55,46	280,00	2309,86					sim									170,03				4
37A	93,57	57,22	280,00	2619,89														78,35				3
37B	83,92	52,97	240,00	2014,08						9,4	79,8	62,9						68,06				4
38A	102,42	55,72	280,00	2867,69					sim									90,41			145,71	4
38B	93,43	56,21	280,00	2616,11						55,5	86,7	20,4						142,32			44,64	5
39A	98,98	59,90	280,00	2771,30					sim									35,23	35,33		72,50	4
39B	83,52	56,40	280,00	2338,42					sim									57,76	49,50		24,64	4
40A	93,77	52,93	280,00	2625,63					sim									97,35	54,35		28,21	4
40B	82,95	60,33	280,00	2322,60					sim	8,8	95,2	1,4						136,70			25,71	4
41A	118,35	60,21	280,00	3313,73					sim									99,10	36,27	92,91	336,79	5
41B	103,91	60,12	280,00	2909,41					sim									65,23		177,21	321,43	5
42A	108,68	56,98	280,00	3042,90					sim									131,03	45,82		776,43	5
42B	117,94	60,13	280,00	3302,32					sim									188,26		57,32	232,14	5
43A	115,11	59,38	280,00	3223,01					sim									322,15			343,57	5
43B	118,17	55,89	280,00	3308,76					sim									134,39	24,29	24,39	247,14	5
44A	117,48	56,70	280,00	3289,44					sim						sim			224,41	57,07	18,37	238,57	5
44B	114,93	55,88	280,00	3217,97					sim									183,15			130,71	4
45A	117,72	56,88	280,00	3296,23					sim									122,67			137,86	4
45B	108,84	60,09	280,00	3047,45		4,6												149,33		118,56	585,36	5
46A	119,00	60,48	280,00	3332,07														156,59			178,21	5
46B	109,63	59,89	280,00	3069,50					sim									95,17		87,75	444,64	5
47A1	109,50	59,83	280,00	3065,93					sim									274,52		142,07	1000,00	5
47A2	109,81	45,20	280,00	3074,68		1,4		5,5												165,35		5
47B	117,16	59,09	240,00	2811,90					sim												706,67	5
48A1	118,17	56,06	280,00	3308,69					sim									245,14				4
48A2	118,52	49,19	280,00	3318,63					sim									71,54	119,48		210,36	5
48B	118,44	60,27	240,00	2842,44					sim									94,55	35,67	19,14	533,75	4
49A1	118,56	60,23	280,00	3319,61														376,95			637,14	5
49A2	118,53	49,06	280,00	3318,91						26,6	87,7	38,2			sim			189,54				5
49B	118,53	56,64	280,00	3318,77					sim									82,62		38,02	73,21	4
50A1	114,52	56,14	280,00	3206,49				3,9										215,32			568,57	5
50A2	114,64	53,57	280,00	3209,92					sim									284,36			97,86	4
50B	118,79	60,24	280,00	3326,05														392,27			500,71	5
51A1	117,49	56,77	280,00	3289,79		2,1		3,9							sim			84,63	93,87	18,00		5
51A2	117,97	56,33	280,00	3303,16					sim						sim			47,98			12,14	5
51B	114,25	59,37	280,00	3199,07					sim						sim			66,15	25,71	6,69		5
52A	114,70	58,74	240,00	2752,74		sim												120,48			125,00	4
52B	94,31	56,40	240,00	2263,50						34,4	34,6	30,0			sim			113,28				5
53A1	118,40	56,35	280,00	3315,13		6,96		4,6							sim			167,68				5
53A2	118,28	59,65	280,00	3311,77				3,6							sim			27,32	41,32	30,75		5
53B1	118,36	56,65	240,00	2840,52														147,92			9,58	3
53B2	118,57	49,16	280,00	3319,82											sim			68,58				5
54A	118,76	60,12	280,00	3325,14											sim			89,01				5

Viga	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)	Bolsa goma veio kino	Empenamentos				Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE
						Arqueam. (mm/m)	Encançam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim.	espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)										
83A	114,13	56,18	280,00	3195,50					sim						sim			367,65			126,07	5
83B	117,33	56,04	280,00	3285,10					sim									85,52		39,33	86,07	4
84A	114,80	60,35	280,00	3214,47					sim						sim			56,66		69,94		5
84B	109,84	59,20	280,00	3075,52					sim						sim			58,18	65,66		115,71	5
85A	117,98	56,48	280,00	3303,44					sim						sim			233,05			90,71	5
85B	108,58	55,77	280,00	3040,31														96,79			115,36	4
86A	114,03	56,26	280,00	3192,84											sim			205,98			132,14	5
86B	118,29	56,23	280,00	3311,98					sim						sim			145,09			42,86	5
87A	98,67	55,85	280,00	2762,62						28,4	91,2	25,0						59,58			317,14	5
87B	104,41	60,55	280,00	2923,55					sim									219,58			106,43	4
88A	114,23	56,50	280,00	3198,51											sim			285,76			166,79	5
88B	117,65	56,39	280,00	3294,06					sim						sim			141,74			170,00	5
89A	114,13	56,86	280,00	3195,64														307,60			489,29	5
89B	114,35	56,08	280,00	3201,66														32,84	96,61		455,00	5
90A1	118,40	55,66	280,00	3315,20				3,6							sim			234,89			262,50	5
90A2	118,51	56,24	240,00	2844,30				9,2							sim			309,48				5
90B	118,54	55,78	280,00	3319,19		2,9			sim						sim			191,76		18,53	577,14	5
91A	104,31	59,11	280,00	2920,75						20,5	82,4	18,4						218,81			31,79	4
91B	118,43	59,75	280,00	3315,90					sim									44,96	25,27	33,99	66,79	4
92A	118,54	59,99	280,00	3319,05											sim			301,51			485,36	5
92B	109,60	59,65	280,00	3068,80					sim									247,27	38,79	39,46	181,07	5
93A	118,25	56,79	280,00	3311,07					sim						sim			135,70		27,92		5
93B	117,79	60,06	280,00	3298,05						8,4	97,6	12,7						246,44			53,57	3
94A1	114,26	59,84	280,00	3199,21				5,0										187,29			24,29	3
94B	117,79	55,94	280,00	3298,12														218,99			210,71	5
95A	117,89	60,06	240,00	2829,24														347,62			100,00	4
95B	118,69	56,49	240,00	2848,44		4,2		2,7										112,06		16,08	41,25	4
96A	109,12	56,60	240,00	2618,76														223,23			58,75	3
96B	118,48	56,30	280,00	3317,30																	21,07	1
97A	118,87	56,92	280,00	3328,29														407,91			641,79	5
97B	115,14	59,80	280,00	3223,92					sim									133,78	17,10	49,73	337,86	5
98A	118,09	56,76	280,00	3306,45						17,2	94,8	16,6						206,91				3
98B	109,36	60,23	280,00	3062,08						8,7	96,9	24,2						120,89			69,29	3
99A	94,30	60,35	280,00	2640,33	80,36					10,5	96,5	9,3						526,66			36,07	5
99B	118,71	59,84	280,00	3323,95	206,79					29,8	91,0	1,4						420,09			56,79	5
100A	109,65	56,79	280,00	3070,13					sim						sim			210,75		53,55	43,93	5
100B	114,07	60,05	280,00	3193,96					sim									23,28	14,67	80,70	38,93	5
101A1	118,80	56,41	280,00	3326,26														38,95			19,64	2
101A2	117,61	56,53	280,00	3293,15					sim						sim			42,60	85,61	15,73	30,71	5
101A3	118,66	52,59	280,00	3322,34				7,1							sim			13,19	19,83	12,43		5
101A4	114,98	52,20	280,00	3219,30				5,7												14,05		4
101A5	109,65	52,49	280,00	3070,27				5,7										108,22		16,90		4
101B1	118,87	60,18	280,00	3328,43		4,6												74,53				3
101B2	118,51	59,43	240,00	2844,18				4,8												39,69		4
101B3	118,09	59,41	280,00	3306,52				6,4										85,50				3
102A1	113,94	59,80	280,00	3190,25				5,7										9,41				2
102A2	114,26	59,71	280,00	3199,35				3,9											18,63	6,59	100,00	4
102A3	108,99	56,45	280,00	3051,58					sim									336,73	102,63	19,44	236,07	5
102A4	114,12	56,28	280,00	3195,36					sim									237,72			265,36	5
102A5	98,93	57,12	280,00	2769,97					sim													4
102A6	108,81	56,73	280,00	3046,75		4,3	4,3														26,43	2
102A7	114,92	59,97	280,00	3217,69				3,9										21,87			24,29	2
102B1	117,96	59,68	280,00	3302,74					sim									94,75	25,92	11,97		4
102B2	117,94	52,64	280,00	3302,18														14,90				2
102B3	118,45	60,26	280,00	3316,53														111,33			14,29	3
102B4	118,45	59,83	280,00	3316,46														323,34				3

Viga	Empenamentos				Bolsa goma veio kino	Esmoado				Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardidã podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE			
	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)		Arqueam. (mm/m)	Encançam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim.											espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)
54B	102,87	58,78	280,00	2880,22						8,1	88,5	24,6			sim			192,34		147,86	5	
55A	117,59	59,20	280,00	3292,45				sim							sim			1806,00		25,03	5	
55B	118,28	59,99	280,00	3311,84						21,6	88,8	11,2			sim			152,78			5	
56A	118,22	59,44	280,00	3310,02				sim										286,32			4	
56B	118,20	59,20	280,00	3309,46											sim			184,90		29,29	5	
57A	109,29	52,93	280,00	3060,05				sim							sim			88,43	52,06	88,43	5	
57B	118,53	56,53	280,00	3318,70						41,6	83,5	10,2			sim			168,07			5	
58A	117,97	56,53	280,00	3303,02				sim							sim			61,04			5	
58B	114,16	59,58	280,00	3196,55											sim			180,59		14,29	5	
59A	117,99	60,41	280,00	3303,79											sim			180,63			5	
59B	109,35	59,51	280,00	3061,87				sim							sim			194,64	78,09		5	
60A	118,25	55,75	280,00	3310,93				sim	39,0	88,8	8,8				sim			112,70			5	
60B	117,67	59,65	280,00	3294,69											sim			144,75			5	
61A	118,33	56,30	240,00	2839,98				sim										89,62		126,67	5	
61B	93,77	54,54	280,00	2625,63				sim										122,36	6,88	243,93	5	
62A	117,97	60,23	280,00	3303,02						10,3	96,6	9,5						109,30		282,86	5	
62B	82,36	59,81	240,00	1976,58				sim										75,27	26,11	8,31	5	
63A	118,10	59,84	280,00	3306,73						26,5	92,3	14,7						238,79		126,79	3	
63B	98,55	56,56	280,00	2759,40				sim										167,14		375,71	5	
64A	117,58	56,51	280,00	3292,31						9,8	96,1	10,5						102,08		153,93	5	
64B	98,26	56,53	240,00	2358,24														110,08	6,93	345,83	5	
65A	118,08	56,24	280,00	3306,17			6,8								sim			12,18	7,00		5	
65B	103,38	60,07	280,00	2894,50				sim										170,75	56,13		4	
66A	117,94	59,79	280,00	3302,18				sim										252,86		216,07	5	
66B	99,25	56,23	280,00	2778,86														145,05		373,57	5	
67A	117,84	59,85	280,00	3299,59				sim		12,9	95,7	13,2						124,78	62,15	216,07	5	
67B	118,75	55,94	280,00	3324,86						21,3	92,6	36,9						3101,82		62,50	3	
68A	118,12	56,70	280,00	3307,29				sim										220,66	15,64	180,71	5	
68B	92,51	60,00	240,00	2220,24						13,3	87,6	26,4						153,18		208,75	5	
69A	117,97	59,17	280,00	3303,02				sim							sim			41,44		47,37	5	
69B	109,46	55,34	280,00	3064,95				sim	46,4	63,9	22,8							20,74	23,94	28,42	5	
70A	114,64	59,48	280,00	3209,92				sim							sim			126,76	85,87	19,08	5	
70B	109,60	56,31	280,00	3068,80				sim										27,76	15,55	45,20	5	
71A	109,92	55,45	280,00	3077,83						21,9	100,1	3,9						183,87		121,07	4	
72A	118,09	58,99	280,00	3306,52				sim							sim			150,13		34,64	5	
72B	114,83	59,31	280,00	3215,24				sim										222,19		179,64	5	
73A	117,78	59,66	280,00	3297,77				sim							sim			20,26	10,89	29,64	5	
73B	114,57	59,66	280,00	3207,89						66,5	65,5	37,6						158,99			5	
74A	118,48	60,26	280,00	3317,30				sim										227,23			4	
74B	118,34	59,19	280,00	3313,59				sim										23,17	81,38	82,86	5	
75A	109,24	56,47	280,00	3058,79				sim	7,9	94,3	11,3							134,83		41,07	4	
75B	109,60	52,55	280,00	3068,87				sim										97,21	93,06	12,50	5	
76A	118,50	60,14	280,00	3317,86				sim										59,93		162,50	5	
76B	118,77	59,60	280,00	3325,42				sim										336,35		452,86	5	
77A	118,27	59,58	240,00	2838,54				sim										141,68			4	
77B	117,92	60,39	280,00	3301,69				sim										60,48	36,66	15,36	4	
78A1	117,81	56,66	280,00	3298,61				sim							sim				49,45	11,56	5	
78A2	109,98	47,07	280,00	3079,37				sim										88,77	20,05	7,57	4	
78B	117,57	58,87	240,00	2821,56														109,65	43,23	221,67	5	
79A	118,97	60,22	280,00	3331,09				sim										256,37			4	
79B	119,22	59,07	280,00	3338,16				sim										128,97	18,91	77,76	5	
80A1	98,81	56,23	280,00	2766,61											sim			204,53		517,14	5	
80A2	118,00	60,10	280,00	3303,93			1,6												221,70	24,73		5
80B1	118,75	56,85	280,00	3325,00				sim	15,6	96,8	24,8							208,75		276,07	5	
80B2	83,23	58,67	280,00	2330,37														352,94			3	
81A	118,44	59,51	240,00	2842,50											sim			203,52			5	
81B	108,86	56,39	280,00	3048,08														130,99		194,29	5	
82A	117,74	59,85	280,00	3296,65				sim							sim			128,89	86,10	276,07	5	
82B	118,05	59,98	280,00	3305,26														132,02		186,79	5	

Viga	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)	Bolsa goma veio kino	Empenamentos				Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE
						Arqueam. (mm/m)	Encanoam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim.	espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)										
102B5	109,97	55,53	240,00	2639,22					sim										17,84		4	
102B6	109,83	60,03	280,00	3075,10	10,05			3,6										127,08			4	
103A1	118,61	55,59	280,00	3321,01				9,6										229,76			3	
103A2	118,68	56,31	280,00	3323,11					sim					sim				44,43	35,47		5	
103A3	118,60	55,87	240,00	2846,28				7,5										40,25			3	
103A4	114,85	58,92	280,00	3215,66				6,1						sim				35,72			16,07	5
103B1	118,82	56,58	280,00	3326,82					sim										20,19		85,36	4
103B2	118,61	49,47	240,00	2846,64														190,36			345,83	5
103B3	119,11	56,03	280,00	3335,15				6,8										24,68	20,46			4
104A1	118,68	56,24	280,00	3322,90					sim									100,61			11,43	4
104A2	118,46	56,34	280,00	3316,88														235,19			54,64	3
104A3	118,15	56,39	280,00	3308,06					sim									90,65			33,21	4
104A4	114,85	55,63	280,00	3215,66				5,4														2
104A5	110,02	55,08	280,00	3080,63					sim									59,39				4
104B1	118,51	59,76	280,00	3318,14				6,4										144,77				3
104B2	118,12	59,60	240,00	2834,94			9,6											127,59				3
104B3	119,01	59,19	240,00	2856,30				7,1										157,70				3
104B4	118,89	53,17	280,00	3328,85					sim									148,57	13,79			4
105A1	117,53	52,66	280,00	3290,77			3,6	1,4										91,17			16,07	3
105A2	112,81	55,39	280,00	3158,68					sim									150,00				4
105A3	94,33	53,27	280,00	2641,31			3,6	3,8										39,28	31,62			4
105A4	119,14	56,30	280,00	3335,78										sim				4,86			31,07	5
105A5	118,65	59,37	280,00	3322,27			4,6	5,4													43,93	2
105A6	83,90	59,38	240,00	2013,54																		1
105B1	109,61	56,40	280,00	3068,94					sim									164,63	13,76	31,59		4
105B2	109,14	55,79	280,00	3055,92				6,1														2
105B3	109,11	56,07	280,00	3055,01			1,8		sim									165,30			219,64	5
105B4	109,04	55,61	280,00	3053,19																		1
106A1	109,68	56,49	280,00	3071,04				2,9										145,29				3
106A2	117,38	56,41	280,00	3286,64														206,57			34,64	3
106A3	113,83	56,13	280,00	3187,17				8,9										63,71				2
106B1	117,88	56,20	280,00	3300,71					sim									160,97	16,60	15,28		4
106B2	117,90	60,08	280,00	3301,13					sim									177,55		14,15	30,36	4
106B3	117,79	59,23	280,00	3298,12				5,0										57,78		44,25		4
107A1	118,55	59,70	280,00	3319,40				5,7														2
107A2	118,87	59,80	280,00	3328,29					sim									145,30			119,64	4
107A3	118,53	56,04	280,00	3318,84				6,8										197,91				3
107A4	118,11	58,78	280,00	3307,08				4,6										34,39				2
107B1	117,58	56,90	280,00	3292,24					sim									92,93	46,81		78,21	4
107B2	115,44	56,37	280,00	3232,39					sim									115,53				4
107B3	117,78	56,57	280,00	3297,91				7,9										61,17				2
107B4	109,35	52,76	280,00	3061,73				5,7										84,82		17,92	21,07	4
108A1	118,49	59,41	280,00	3317,79				7,5														2
108A2	118,46	59,77	280,00	3316,95					sim									110,22	17,60	8,30		4
108A3	117,52	59,62	280,00	3290,42				3,6	sim					sim						7,70		5
108A4	118,62	55,82	280,00	3321,43				7,1										113,22			17,14	3
108B1	118,49	59,42	280,00	3317,58														111,58				3
108B2	118,28	59,90	280,00	3311,77					sim									154,07				4
108B3	118,14	60,07	240,00	2835,30				9,2										8,22				2
109A1	118,53	59,45	280,00	3318,91					sim									166,88	40,30		82,86	4
109A2	118,16	55,71	280,00	3308,55					sim									128,60	16,41			4
109A3	118,22	44,32	280,00	3310,02				5,4										83,61				3
109B1	118,81	56,52	280,00	3326,54				7,7										45,52		41,65		4
109B2	118,21	60,24	280,00	3309,81					sim									102,01	74,45			5
110A1	114,60	60,20	280,00	3208,80														97,11			342,50	5
110A2	114,14	59,20	280,00	3195,92				3,9										90,05	14,54			4
110A3	118,89	56,13	240,00	2853,24					sim									60,21	58,03			4
110A4	118,33	55,08	280,00	3313,24					sim									29,41				4
110B1	118,60	52,50	280,00	3320,66				6,6										87,73				3
110B2	118,55	55,87	240,00	2845,26			2,1											121,20			37,08	3
110B3	118,67	52,81	280,00	3322,76			1,8							sim				30,14		10,81		5

ANEXO B – Ensaaios não-destrutivos
Vigas no estado verde

Viga							Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	largura (mm)	espes. (mm)	comprim (cm)	vol. (cm³)	Massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq. (Hz)	Peso (N)	I (m⁴)	Ed2 (MPa)	tempo (µs)	velocidade (m/s)	C _{LL}	t1 (µs)	t2 (µs)	t3 (µs)	t médio (µs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
1A	118,29	55,60	280,00	18414	15877	0,8622	16,05	155,7	0,00000169	19333	660,5	4239	15495	674	674	678	675	4146	14822
1B	119,62	50,34	280,00	16859	14490	0,8595	13,51	142,1	0,00000127	16655	632,9	4424	16822	672	678	679	676	4140	14731
2A	114,77	55,77	280,00	17921	15653	0,8734	13,72	153,5	0,00000166	14222	683,2	4098	14670	691	688	693	691	4054	14355
2B	111,76	53,45	280,00	16726	14144	0,8456	12,86	138,7	0,00000142	13169	617,4	4535	17392	644	641	649	645	4343	15952
3A	114,90	59,42	280,00	19115	16795	0,8786	14,82	164,7	0,00000201	14706	674,0	4154	15163	699	699	698	699	4008	14111
3B	114,51	59,42	280,00	19050	16132	0,8468	13,91	158,2	0,00000200	12485	623,3	4492	17089	652	651	651	651	4299	15649
4A	114,36	59,64	280,00	19095	16938	0,8870	13,52	166,1	0,00000202	12265	681,7	4107	14964	701	701	708	703	3981	14058
4B	118,10	56,80	280,00	18781	16601	0,8839	13,55	162,8	0,00000180	13535	669,1	4185	15479	672	677	672	674	4156	15270
5A	118,54	56,74	280,00	18833	15388	0,8170	13,98	150,9	0,00000180	13342	632,9	4424	15992	674	678	675	676	4144	14031
5B	109,49	56,45	240,00	14833	12010	0,8097	-	-	-	-	519,1	4623	17308	551	554	559	555	4327	15159
6A	118,59	60,18	280,00	19982	17213	0,8614	14,05	168,8	0,00000215	12633	664,5	4214	15295	686	688	689	688	4072	14282
6B	103,62	59,84	280,00	17363	13919	0,8017	13,98	136,5	0,00000185	11770	635,5	4406	15562	662	660	665	662	4227	14327
7A1	118,71	60,07	280,00	19967	17325	0,8677	14,46	169,9	0,00000214	13526	666,2	4203	15327	685	684	687	685	4086	14484
7B1	94,29	55,92	280,00	14762	12461	0,8441	14,40	122,2	0,00000137	15060	620,5	4512	17188	649	646	646	647	4328	15809
8A	118,04	60,44	280,00	19977	17274	0,8647	14,86	169,4	0,00000217	14062	666,8	4199	15247	678	671	667	672	4167	15012
8B	118,56	57,00	280,00	18923	16152	0,8536	14,56	158,4	0,00000183	14984	614,6	4556	17717	640	642	638	640	4375	16338
9A	118,60	59,64	240,00	16975	13795	0,8127	-	-	-	-	530,7	4522	16620	574	578	570	574	4181	14207
9B	118,31	56,83	280,00	18825	15428	0,8196	14,59	151,3	0,00000181	14533	604,3	4633	17595	633	637	631	634	4419	16002
10A	118,62	59,90	280,00	19894	17274	0,8683	14,38	169,4	0,00000212	13462	666,8	4199	15311	681	684	681	682	4106	14636
10B	118,14	59,63	280,00	19723	17519	0,8883	14,78	171,8	0,00000209	14683	625,4	4477	17805	658	660	661	660	4245	16003
11A1	109,38	53,00	280,00	16231	12553	0,7734	13,81	123,1	0,00000136	14127	600,3	4664	16825	619	622	621	621	4511	15739
11A2	108,84	45,77	280,00	13949	9759	0,6996	11,21	95,7	0,00000087	11290	619,4	4521	14296	638	638	640	639	4384	13447
11B	118,50	60,09	280,00	19938	14154	0,7099	16,27	138,8	0,00000214	13999	562,1	4981	17615	601	607	609	606	4623	15172
12A	114,56	59,70	280,00	19149	13521	0,7061	14,49	132,6	0,00000203	11191	603,3	4641	15210	630	628	631	630	4447	13962
12B	118,69	56,68	280,00	18836	13787	0,7319	15,97	135,2	0,00000180	15633	570,4	4909	17637	559	556	552	559	5009	18364
13A	118,13	56,91	280,00	18823	13521	0,7183	14,68	132,6	0,00000181	12858	629,2	4450	14225	637	637	632	635	4407	13952
13B1	118,10	58,72	280,00	19418	14847	0,7646	15,61	145,6	0,00000199	14535	601,8	4653	16552	624	628	630	627	4463	15232
14A1	118,59	56,55	280,00	18778	13970	0,7440	14,49	137,0	0,00000179	13139	638,1	4388	14325	630	633	639	634	4416	14511
14B1	118,59	59,83	280,00	19865	15112	0,7608	16,60	148,2	0,00000212	15758	589,9	4747	17140	581	583	588	584	4795	17488
15A	118,87	56,66	280,00	18856	13358	0,7084	15,39	131,0	0,00000180	14063	626,0	4473	14173	634	632	632	633	4426	13876
15B	114,44	60,28	280,00	19316	13073	0,6768	16,25	128,2	0,00000209	13231	580,8	4821	15730	615	619	622	619	4526	13863
16A1	113,77	59,19	280,00	18855	13491	0,7155	15,25	132,3	0,00000197	12779	610,0	4590	15076	634	636	634	635	4412	13926
16A2	114,68	49,65	280,00	15943	12104	0,7592	13,51	118,7	0,00000117	15123	591,8	4731	16995	611	611	613	612	4578	15909
16B	117,97	59,74	280,00	19733	14042	0,7116	16,35	137,7	0,00000210	14340	604,3	4633	15277	554	555	556	555	5045	18112
17A1	118,77	59,70	280,00	19854	14347	0,7226	15,61	140,7	0,00000211	13290	619,9	4517	14743	625	629	623	626	4475	14473
17A2	119,77	55,80	280,00	18712	13338	0,7128	15,65	130,8	0,00000173	15085	588,1	4761	16158	556	559	561	559	5012	17905
17B1	118,88	59,27	280,00	19730	17141	0,8688	16,11	168,1	0,00000206	17266	608,2	4604	18414	600	604	601	602	4654	18816
17B2	118,59	60,40	280,00	20056	14868	0,7413	13,46	145,8	0,00000218	9905	650,8	4302	13722	704	706	709	706	3964	11649
18A1	118,83	59,86	240,00	17069	11430	0,6696	-	-	-	-	527,6	4549	13856	541	540	546	542	4425	13113
18A2	118,60	55,36	280,00	18384	13001	0,7072	13,95	127,5	0,00000168	12080	558,8	5011	17756	571	571	572	571	4901	16986
18B	118,66	60,25	280,00	20017	14266	0,7127	15,86	139,9	0,00000216	13287	625,9	4474	14263	620	620	622	621	4511	14505
19A1	118,83	56,03	280,00	18641	12481	0,6696	16,08	122,4	0,00000174	14837	583,5	4799	15418	610	611	614	612	4578	14031
19A2	118,98	49,63	280,00	16533	10799	0,6532	15,30	105,9	0,00000121	16702	567,3	4936	15912	591	594	595	593	4719	14546
19B1	118,64	59,92	280,00	19903	15112	0,7593	13,82	148,2	0,00000213	10868	590,1	4745	17095	620	610	627	619	4523	15536
20A1	117,78	55,97	280,00	18457	13603	0,7370	12,52	133,4	0,00000172	9921	615,2	4551	15267	627	633	633	631	4437	14512
20A2	118,88	49,18	280,00	16369	11095	0,6778	14,87	108,8	0,00000118	16673	559,2	5007	16993	530	531	537	533	5257	18728

Viga							Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	largura (mm)	espes. (mm)	comprim (cm)	vol. (cm³)	Massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq. (Hz)	Peso (N)	I (cm⁴)	Ed2 (MPa)	tempo (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (Mpa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
20B	119,00	60,13	280,00	20036	14215	0,7095	13,01	139,4	0,00000216	8934	610,5	4586	14924	611	611	614	612	4575	14851
21A	114,84	56,48	280,00	18160	16774	0,9237	16,18	164,5	0,00000172	20395	690,2	4057	15202	696	692	700	696	4023	14950
21B	118,43	59,46	280,00	19716	16265	0,8249	13,08	159,5	0,00000207	10740	673,7	4156	14250	691	698	692	694	4037	13441
22A	118,03	56,53	280,00	18683	17233	0,9224	12,48	169,0	0,00000178	12095	651,8	4296	17022	659	660	666	662	4232	16518
22B	102,83	59,76	280,00	17207	16112	0,9363	13,83	158,0	0,00000183	13490	622,8	4496	18926	651	651	657	653	4288	17216
23A	117,94	59,12	280,00	19521	19681	1,0082	14,97	193,0	0,00000203	17393	734,2	3814	14663	730	731	734	732	3827	14765
23B	118,20	59,30	280,00	19625	19120	0,9743	13,73	187,5	0,00000205	14052	666,7	4200	17184	688	690	691	690	4060	16059
24A	109,41	55,98	280,00	17147	16173	0,9432	14,32	158,6	0,00000160	16606	638,9	4383	18115	668	668	670	669	4187	16538
24B	109,14	56,35	280,00	17219	16438	0,9546	13,51	161,2	0,00000163	14763	631,8	4432	18750	637	630	637	635	4412	18581
25A	118,04	56,35	280,00	18623	17141	0,9204	14,31	168,1	0,00000176	15970	638,2	4387	17717	669	671	675	672	4169	15996
25B	84,65	56,33	280,00	13350	11900	0,8914	13,60	116,7	0,00000126	13981	691,9	4047	14598	628	629	625	627	4463	17758
26A	108,69	56,66	280,00	17245	15224	0,8829	14,76	149,3	0,00000165	16116	649,3	4312	16418	665	661	661	662	4227	15778
26B	114,26	56,36	280,00	18031	16061	0,8907	13,51	157,5	0,00000170	13769	603,7	4638	19161	642	649	651	647	4325	16665
27A	118,60	56,65	280,00	18813	16938	0,9003	14,55	166,1	0,00000180	15976	658,6	4251	16273	664	664	661	663	4223	16057
27B	102,18	56,38	240,00	13825	12195	0,8821	-	-	-	-	532,1	4510	17946	551	556	554	554	4335	16575
28A	118,31	60,05	280,00	19893	18712	0,9406	13,73	183,5	0,00000213	13229	664,8	4212	16686	698	698	702	699	4004	15079
28B	118,02	56,81	280,00	18774	17294	0,9212	14,29	169,6	0,00000180	15681	626,7	4468	18389	651	653	655	653	4288	16937
29A	118,62	56,18	280,00	18657	16693	0,8947	13,91	163,7	0,00000175	14758	655,8	4270	16310	636	637	636	636	4400	17323
29B	117,79	52,93	280,00	17456	15316	0,8774	13,81	150,2	0,00000146	16072	612,8	4569	18319	640	642	645	642	4359	16673
31A1	97,89	56,26	280,00	15421	13246	0,8589	13,69	129,9	0,00000145	13681	668,4	4189	15073	680	681	683	681	4110	14506
31B	79,81	56,57	240,00	10835	7595	0,7010	-	-	-	-	489,4	4904	16858	522	519	518	520	4618	14951
32A	103,53	56,20	280,00	16291	13746	0,8438	12,51	134,8	0,00000153	11248	664,7	4212	14972	680	682	685	682	4104	14208
32B	117,63	56,33	280,00	18554	15704	0,8464	13,34	154,0	0,00000175	12769	615,3	4551	17527	622	623	627	624	4487	17042
33A	97,74	58,81	240,00	13796	11245	0,8151	-	-	-	-	573,6	4184	14270	571	573	561	568	4223	14536
33B	109,86	55,57	240,00	14651	11755	0,8023	-	-	-	-	532,9	4504	16273	566	563	560	563	4263	14580
34A	109,66	55,94	280,00	17176	14868	0,8656	14,37	145,8	0,00000160	15365	692,4	4044	14155	707	701	707	705	3972	13654
34B	114,21	59,82	280,00	19129	16509	0,8630	12,62	161,9	0,00000204	10334	671,9	4167	14988	631	631	627	630	4447	17066
35A1	109,21	56,44	280,00	17256	16020	0,9283	14,73	157,1	0,00000164	17014	685,8	4083	15475	698	704	705	702	3987	14755
35A2	108,86	53,42	280,00	16283	13929	0,8554	12,81	136,6	0,00000138	13232	645,5	4338	16096	647	649	650	649	4317	15939
35B	114,81	59,78	280,00	19218	16825	0,8755	12,94	165,0	0,00000204	11035	681,7	4107	14770	690	693	697	693	4038	14279
36A	99,07	56,77	240,00	13497	10475	0,7761	-	-	-	-	546,0	4396	14995	562	562	561	562	4273	14170
36B	82,50	55,46	280,00	12810	9850	0,7689	14,22	96,6	0,00000117	13599	577,3	4850	18089	601	602	604	602	4649	16616
37A	93,57	57,22	280,00	14990	12706	0,8476	14,86	124,6	0,00000146	15380	644,0	4348	16023	647	647	642	645	4339	15956
37B	83,92	52,97	240,00	10668	7810	0,7321	-	-	-	-	492,3	4875	17400	529	527	524	527	4557	15203
38A	102,42	55,72	280,00	15979	14572	0,9119	14,09	142,9	0,00000148	15686	682,8	4101	15335	696	695	702	698	4013	14688
38B	93,43	56,21	280,00	14705	12818	0,8717	13,19	125,7	0,00000138	12914	639,5	4378	16711	666	661	666	664	4215	15485
39A	98,98	59,90	280,00	16599	13613	0,8201	13,44	133,5	0,00000177	11109	636,3	4400	15881	650	647	643	647	4330	15376
39B	83,52	56,40	280,00	13188	10442	0,7918	15,05	102,4	0,00000125	15170	614,3	4558	16450	625	621	625	624	4490	15960
40A	93,77	52,93	280,00	13896	11604	0,8351	14,43	113,8	0,00000116	16700	625,1	4479	16755	633	636	637	635	4407	16220
40B	82,95	60,33	280,00	14013	12053	0,8601	12,79	118,2	0,00000152	10399	641,5	4365	16387	599	600	601	600	4667	18732
41A	118,35	60,21	280,00	19952	17009	0,8525	15,62	166,8	0,00000215	15435	670,1	4178	14884	680	686	689	685	4088	14244
41B	103,91	60,12	280,00	17491	15224	0,8704	14,65	149,3	0,00000188	13906	651,9	4295	16058	700	700	693	698	4013	14020
42A	108,68	56,98	280,00	17338	15347	0,8851	14,52	150,5	0,00000168	15463	683,5	4097	14854	699	699	700	699	4004	14189
42B	117,94	60,13	280,00	19855	17611	0,8869	13,17	172,7	0,00000214	11449	644,1	4347	16761	665	666	667	666	4204	15677
43A	115,11	59,38	280,00	19139	18131	0,9473	14,48	177,8	0,00000201	15153	711,3	3936	14679	740	742	740	741	3780	13538
43B	118,17	55,89	280,00	18493	18059	0,9766	13,28	177,1	0,00000172	14833	593,1	4721	21765	701	701	706	703	3985	15507

Viga							Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	largura (mm)	espes. (mm)	comprim (cm)	vol. (cm³)	Massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq. (Hz)	Peso (N)	I cm⁴	Ed2 (MPa)	tempo (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (Mpa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (394/s)	Ed1 (MPa)
44A	117,48	56,70	280,00	18649	16938	0,9082	12,96	166,1	0,00000178	12767	701,3	3993	14477	811	811	818	813	3443	10764
44B	114,93	55,88	280,00	17980	17723	0,9857	12,53	173,8	0,00000167	13335	670,1	4178	17209	710	719	720	716	3909	15060
45A	117,72	56,88	280,00	18749	17570	0,9371	13,36	172,3	0,00000181	13908	715,3	3914	14359	721	720	727	723	3875	14068
45B	108,84	60,09	280,00	18311	17233	0,9412	12,84	169,0	0,00000197	11562	702,9	3983	14935	709	710	711	710	3944	14637
46A	119,00	60,48	280,00	20151	18957	0,9407	12,63	185,9	0,00000219	11039	681,9	4106	15862	710	710	715	712	3934	14562
46B	109,63	59,69	280,00	18323	16438	0,8971	14,03	161,2	0,00000194	13333	652,0	4294	16545	683	689	690	687	4074	14888
47A1	109,50	59,83	280,00	18343	16061	0,8755	14,02	157,5	0,00000195	12934	666,4	4202	15457	707	701	702	703	3981	13876
47A2	109,81	45,20	280,00	13898	12390	0,8914	13,79	121,5	0,00000085	22320	614,3	4558	18520	640	645	649	645	4343	16817
47B	117,16	59,09	240,00	16614	14890	0,8962	-	-	-	-	571,2	4202	15822	572	573	574	573	4188	15723
48A1	118,17	56,06	280,00	18549	16285	0,8780	11,89	159,7	0,00000173	10625	672,0	4167	15242	687	689	691	689	4064	14500
48A2	118,52	49,19	280,00	16325	13787	0,8445	13,36	135,2	0,00000118	16757	642,4	4359	16044	663	665	669	666	4206	14942
48B	118,44	60,27	240,00	17131	14295	0,8344	-	-	-	-	539,2	4451	16532	573	576	578	576	4169	14503
49A1	118,56	60,23	280,00	19995	17437	0,8721	12,21	171,0	0,00000216	9641	661,6	4232	15620	691	694	699	695	4031	14168
49A2	118,53	49,06	280,00	16282	14490	0,8900	13,82	142,1	0,00000117	19001	614,7	4555	18466	650	653	656	653	4288	16363
49B	118,53	56,64	280,00	18796	16938	0,9011	13,14	166,1	0,00000179	13050	649,3	4312	16758	695	696	698	696	4021	14570
50A1	114,52	56,14	280,00	18001	15744	0,8746	13,55	154,4	0,00000169	13707	671,5	4170	15207	699	700	696	698	4010	14061
50A2	114,64	53,57	280,00	17194	16040	0,9329	12,91	157,3	0,00000147	14579	654,1	4281	17095	669	665	572	635	4407	18120
50B	118,79	60,24	280,00	20036	18426	0,9197	13,28	180,7	0,00000216	12024	677,4	4133	15713	681	683	689	684	4092	15396
51A1	117,49	56,77	280,00	18674	16938	0,9070	14,07	166,1	0,00000179	14991	684,5	4091	15176	700	706	702	703	3985	14402
51A2	117,97	56,33	280,00	18608	16825	0,9042	12,99	165,0	0,00000176	12935	661,9	4230	16181	687	690	691	689	4062	14919
51B	114,25	59,37	280,00	18994	18284	0,9626	13,27	179,3	0,00000199	12936	687,0	4076	15990	718	718	720	719	3896	14612
52A	114,70	58,74	240,00	16168	14410	0,8913	-	-	-	-	566,8	4234	15980	599	596	597	597	4018	14388
52B	94,31	56,40	240,00	12767	10615	0,8315	-	-	-	-	544,4	4409	16159	575	578	576	576	4164	14418
53A1	118,40	56,35	280,00	18679	16417	0,8789	13,83	161,0	0,00000176	14245	646,7	4330	16476	661	659	661	660	4240	15803
53A2	118,28	59,65	280,00	19754	16938	0,8574	12,70	166,1	0,00000209	10457	666,4	4202	15137	702	706	729	712	3931	13248
53B1	118,36	56,65	240,00	16090	13415	0,8337	-	-	-	-	520,5	4611	17726	551	551	554	552	4348	15761
53B2	118,57	49,16	280,00	16319	13226	0,8104	13,63	129,7	0,00000117	16762	580,3	4825	18868	610	611	618	613	4568	16909
54A	118,76	60,12	280,00	19991	18559	0,9284	14,35	182,0	0,00000215	14229	711,9	3933	14362	690	693	696	693	4040	15156
54B	102,87	58,78	280,00	16931	16020	0,9462	13,26	157,1	0,00000174	12953	676,9	4137	16190	739	732	734	735	3810	13732
55A	117,59	59,20	280,00	19490	18314	0,9396	13,88	179,6	0,00000203	13897	670,9	4173	16367	701	702	705	703	3985	14920
55B	118,28	59,99	280,00	19866	18936	0,9532	14,01	185,7	0,00000213	13988	648,6	4317	17764	647	645	642	645	4343	17982
56A	118,22	59,44	280,00	19674	17815	0,9055	13,90	174,7	0,00000207	13322	649,2	4313	16844	688	689	691	689	4062	14940
56B	118,20	59,20	280,00	19592	17998	0,9186	14,67	176,5	0,00000204	15176	635,0	4409	17861	651	655	652	653	4290	16908
57A	109,29	52,93	280,00	16196	14806	0,9142	14,40	145,2	0,00000135	18205	690,3	4056	15041	685	686	685	685	4086	15260
57B	118,53	56,53	280,00	18759	17101	0,9116	14,46	167,7	0,00000178	16049	664,3	4215	16195	681	681	683	682	4108	15381
58A	117,97	56,53	280,00	18672	17274	0,9251	12,35	169,4	0,00000178	11879	704,1	3977	14630	728	734	735	732	3823	13524
58B	114,16	59,58	280,00	19044	17794	0,9344	13,18	174,5	0,00000201	12302	683,7	4095	15671	686	684	683	684	4092	15642
59A	117,99	60,41	280,00	19957	18508	0,9274	12,92	181,5	0,00000217	11414	674,8	4149	15968	688	687	683	686	4082	15450
59B	109,35	59,51	280,00	18220	17702	0,9716	13,89	173,6	0,00000192	14240	683,4	4097	16309	711	715	716	714	3922	14941
60A	118,25	55,75	280,00	18458	16468	0,8922	13,74	161,5	0,00000171	14581	671,0	4173	15536	661	669	666	665	4208	15802
60B	117,67	59,65	280,00	19653	17774	0,9044	13,99	174,3	0,00000208	13383	638,8	4383	17376	649	651	652	651	4303	16748
61A	118,33	56,30	240,00	15988	13725	0,8585	-	-	-	-	549,7	4366	16364	585	588	592	588	4079	14286
61B	93,77	54,54	280,00	14320	13114	0,9158	13,34	128,6	0,00000127	14740	642,1	4361	17414	669	671	676	672	4167	15899
62A	117,97	60,23	280,00	19893	17967	0,9032	14,83	176,2	0,00000215	14732	645,8	4336	16979	672	671	674	672	4165	15665
62B	82,36	59,81	240,00	11821	9940	0,8409	-	-	-	-	528,2	4544	17360	553	547	551	550	4361	15992
63A	118,10	59,84	280,00	19786	16978	0,8581	12,93	166,5	0,00000211	10780	650,9	4302	15879	689	690	696	692	4048	14063

Viga							Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	largura (mm)	espes. (mm)	comprim (cm)	vol. (cm³)	Massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq. (Hz)	Peso (N)	I m⁴	Ed2 (MPa)	tempo (µs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (Mpa)	t1 (µs)	t2 (µs)	t3 (µs)	t médio (µs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
63B	98,55	56,56	280,00	15608	14582	0,9343	14,82	143,0	0,00000149	17254	634,9	4410	18171	667	667	663	666	4206	16530
64A	117,58	56,51	280,00	18606	17029	0,9153	14,18	167,0	0,00000177	15503	654,1	4281	16772	676	670	679	675	4148	15749
64B	98,26	56,53	240,00	13331	11390	0,8544	-	-	-	-	524,1	4579	17917	551	557	556	555	4327	15997
65A	118,08	56,24	280,00	18593	16285	0,8759	13,80	159,7	0,00000175	14188	674,2	4153	15107	690	691	692	691	4052	14381
65B	103,38	60,07	280,00	17387	15051	0,8657	13,74	147,6	0,00000187	12185	646,6	4330	16233	611	617	619	616	4548	17905
66A	117,94	59,79	280,00	19744	18151	0,9193	13,55	178,0	0,00000210	12702	694,2	4033	14956	703	710	696	703	3983	14584
66B	99,25	56,23	280,00	15624	15275	0,9777	13,99	149,8	0,00000147	16284	637,7	4391	18849	692	694	696	694	4035	15915
67A	117,84	59,85	280,00	19747	17519	0,8872	13,69	171,8	0,00000211	12488	666,7	4200	15648	691	694	695	693	4038	14469
67B	118,75	55,94	280,00	18599	17141	0,9216	13,01	168,1	0,00000173	13411	663,5	4220	16413	654	653	647	651	4299	17032
68A	118,12	56,70	280,00	18752	17682	0,9429	13,85	173,4	0,00000179	15135	674,7	4150	16239	695	699	699	698	4013	15188
68B	92,51	60,00	240,00	13322	11510	0,8640	-	-	-	-	534,7	4488	17406	553	556	563	557	4306	16021
69A	117,97	59,17	280,00	19542	18488	0,9460	13,75	181,3	0,00000204	13746	670,0	4179	16522	687	693	693	691	4052	15533
69B	109,46	55,34	280,00	16961	14980	0,8832	13,51	146,9	0,00000155	14160	610,8	4584	18559	631	634	637	634	4416	17226
70A	114,64	59,48	280,00	19093	17590	0,9213	14,38	172,5	0,00000201	14485	673,9	4155	15904	669	667	661	666	4206	16300
70B	109,60	56,31	280,00	17280	14868	0,8604	12,97	145,8	0,00000163	12280	624,0	4487	17323	639	643	644	642	4361	16366
71A	109,92	55,45	280,00	17067	16152	0,9464	14,14	158,4	0,00000156	16554	742,9	3769	13444	749	752	758	753	3718	13086
72A	118,09	58,99	280,00	19504	16265	0,8339	12,11	159,5	0,00000202	9455	694,9	4029	13539	711	706	705	707	3959	13067
72B	114,83	59,31	280,00	19068	16010	0,8396	13,54	157,0	0,00000200	11774	683,9	4094	14074	696	698	703	699	4006	13472
73A	117,78	59,66	280,00	19673	18335	0,9320	14,17	179,8	0,00000208	14146	747,8	3744	13066	751	751	759	754	3715	12864
73B	114,57	59,66	280,00	19137	16713	0,8734	12,91	163,9	0,00000203	11004	698,1	4011	14050	703	701	700	701	3992	13921
74A	118,48	60,26	280,00	19991	16866	0,8437	13,35	165,4	0,00000216	11139	698,7	4007	13549	716	712	712	713	3925	12999
74B	118,34	59,19	280,00	19613	16785	0,8558	13,40	164,6	0,00000205	11800	689,0	4064	14133	698	696	697	697	4017	13811
75A	109,24	56,47	280,00	17271	14103	0,8165	13,79	138,3	0,00000164	13102	674,1	4154	14088	701	709	707	706	3968	12856
75B	109,60	52,55	280,00	16127	13318	0,8258	13,05	130,6	0,00000133	13701	646,5	4331	15490	675	675	679	676	4140	14154
76A	118,50	60,14	280,00	19952	16152	0,8096	12,50	158,4	0,00000215	9410	692,9	4041	13220	731	732	739	734	3815	11781
76B	118,77	59,60	280,00	19819	16020	0,8083	13,48	157,1	0,00000210	11125	661,6	4232	14478	680	688	689	686	4084	13479
77A	118,27	59,58	240,00	16912	12990	0,7681	-	-	-	-	562,2	4269	13998	596	593	593	594	4040	12539
77B	117,92	60,39	280,00	19939	16938	0,8495	13,94	166,1	0,00000216	12177	643,2	4353	16098	690	692	690	691	4054	13961
78A1	117,81	56,66	280,00	18691	15704	0,8402	14,01	154,0	0,00000179	13818	700,7	3996	13416	715	713	715	714	3920	12909
78A2	109,98	47,07	280,00	14494	10931	0,7542	12,81	107,2	0,00000096	15029	619,5	4520	15407	658	658	663	660	4245	13588
78B	117,57	58,87	240,00	16611	13400	0,8067	-	-	-	-	555,0	4324	15085	589	587	588	588	4082	13439
79A	118,97	60,22	280,00	20060	17029	0,8489	11,68	167,0	0,00000217	8591	716,6	3907	12961	715	712	712	713	3927	13092
79B	119,22	59,07	280,00	19719	16448	0,8341	13,51	161,3	0,00000205	11738	668,1	4191	14651	679	680	681	680	4118	14143
80A1	98,81	56,23	280,00	15557	16224	1,0429	13,92	159,1	0,00000146	17194	690,2	4057	17163	715	720	721	719	3896	15831
80A2	118,00	60,10	280,00	19857	14174	0,7138	13,46	139,0	0,00000213	9632	671,5	4170	12411	694	697	693	695	4031	11597
80B1	118,75	56,85	280,00	18902	14735	0,7796	13,10	144,5	0,00000182	11137	650,7	4303	14434	678	680	681	680	4120	13230
80B2	83,23	58,67	280,00	13671	13389	0,9794	14,29	131,3	0,00000140	15633	649,3	4312	18212	660	659	663	661	4238	17591
81A	118,44	59,51	240,00	16914	14769	0,8732	-	-	-	-	546,4	4392	16846	582	582	582	582	4124	14848
81B	108,86	56,39	280,00	17188	15816	0,9202	14,37	155,1	0,00000163	16075	621,5	4505	18677	641	639	642	641	4370	17576
82A	117,74	59,85	280,00	19731	19120	0,9690	14,64	187,5	0,00000210	15597	683,9	4094	16243	689	693	694	692	4046	15865
82B	118,05	59,98	280,00	19823	18916	0,9542	13,89	185,5	0,00000212	13769	650,8	4302	17663	636	639	640	638	4386	18360
83A	114,13	56,18	280,00	17952	18335	1,0213	15,01	179,8	0,00000169	19613	681,9	4106	17220	690	691	698	693	4040	16672
83B	117,33	56,04	280,00	18408	17294	0,9395	13,23	169,6	0,00000172	14089	638,4	4386	18073	652	653	652	652	4292	17309
84A	114,80	60,35	280,00	19399	19048	0,9819	14,02	186,8	0,00000210	14256	660,4	4240	17651	700	705	701	702	3989	15621
84B	109,84	59,20	280,00	18206	17682	0,9712	13,97	173,4	0,00000190	14553	648,8	4316	18089	669	669	670	669	4183	16996
85A	117,98	56,48	280,00	18658	18763	1,0056	15,03	184,0	0,00000177	19158	701,3	3993	16030	693	698	699	697	4019	16244

Viga							Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	largura (mm)	espes. (mm)	comprim (cm)	vol. (cm³)	Massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq. (Hz)	Peso (N)	I m⁴	Ed2 (MPa)	tempo (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (Mpa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
85B	108,58	55,77	280,00	16956	15683	0,9250	13,48	153,8	0,00000157	14537	628,6	4454	18352	638	638	632	636	4403	17928
86A	114,03	56,26	280,00	17964	17050	0,9491	14,44	167,2	0,00000169	16819	711,2	3937	14711	679	679	682	680	4118	16092
86B	118,29	56,23	280,00	18624	17274	0,9275	13,34	169,4	0,00000175	14043	610,1	4589	19536	653	653	651	652	4292	17088
87A	98,67	55,85	280,00	15429	14490	0,9391	14,26	142,1	0,00000143	16471	650,5	4304	17400	674	673	670	672	4165	16288
87B	104,41	60,55	280,00	17701	15908	0,8987	14,00	156,0	0,00000193	12926	597,4	4687	19742	625	624	626	625	4480	18037
88A	114,23	56,50	280,00	18070	17345	0,9599	15,77	170,1	0,00000172	20121	685,8	4083	16001	659	654	665	659	4247	17311
88B	117,65	56,39	280,00	18574	17794	0,9580	13,39	174,5	0,00000176	14535	624,0	4487	19290	632	638	634	635	4412	18647
89A	114,13	56,71	280,00	18122	17978	0,9920	14,45	176,3	0,00000173	17327	636,3	4400	19209	650	651	648	650	4310	18427
89B	114,35	56,08	280,00	17954	16846	0,9383	13,93	165,2	0,00000168	15575	593,3	4719	20898	625	633	629	629	4452	18593
90A1	118,40	55,66	280,00	18452	17743	0,9616	14,39	174,0	0,00000170	17290	632,5	4427	18844	670	670	662	667	4196	16928
90A2	118,51	56,24	240,00	15995	14981	0,9366	-	-	-	-	510,2	4704	20725	553	552	554	553	4340	17641
90B	118,54	55,78	280,00	18515	17203	0,9291	13,79	168,7	0,00000171	15275	619,4	4521	18986	613	619	618	617	4541	19155
91A	104,31	59,11	280,00	17264	13450	0,7791	14,31	131,9	0,00000180	12285	640,2	4374	14903	642	646	642	643	4352	14758
91B	118,43	59,75	280,00	19811	15592	0,7870	15,09	152,9	0,00000210	13507	589,2	4752	17774	630	635	630	632	4433	15464
92A	118,54	59,99	280,00	19912	16774	0,8424	16,22	164,5	0,00000213	16567	694,4	4032	13697	710	719	712	714	3923	12968
92B	109,60	59,65	280,00	18305	15595	0,8519	14,28	152,9	0,00000194	13135	635,5	4406	16538	679	675	672	675	4146	14644
93A	118,25	56,79	280,00	18803	14582	0,7755	14,06	143,0	0,00000180	12789	654,1	4281	14211	648	648	653	650	4310	14406
93B	117,79	60,06	280,00	19806	14583	0,7363	15,67	143,0	0,00000213	13486	608,5	4601	15590	636	631	630	632	4428	14437
94A1	114,26	59,84	280,00	19145	16550	0,8645	13,94	162,3	0,00000204	12619	656,4	4266	15730	653	655	652	653	4286	15878
94B	117,79	55,94	280,00	18451	14439	0,7826	15,08	141,6	0,00000172	15298	607,4	4610	16630	611	616	618	615	4553	16222
95A	117,89	60,06	240,00	16993	13540	0,7968	-	-	-	-	607,2	3953	12448	579	568	577	575	4176	13897
95B	118,69	56,49	240,00	16089	12610	0,7837	-	-	-	-	507,3	4731	17542	530	537	537	535	4489	15792
96A	109,12	56,60	240,00	14823	11170	0,7536	-	-	-	-	575,5	4170	13106	566	562	560	563	4265	13710
96B	118,48	56,30	280,00	18675	15500	0,8300	14,53	152,0	0,00000176	14875	622,5	4498	16792	631	633	635	633	4423	16240
97A	118,87	56,92	280,00	18943	15031	0,7935	13,77	147,4	0,00000183	12495	695,5	4026	12860	690	699	691	693	4038	12941
97B	115,14	59,80	280,00	19280	15857	0,8224	15,21	155,5	0,00000205	14313	636,4	4400	15921	645	650	650	648	4319	15340
98A	118,09	56,76	280,00	18767	14868	0,7922	14,14	145,8	0,00000180	13228	627,9	4459	15754	615	611	618	615	4555	16440
98B	109,36	60,23	280,00	18444	15857	0,8597	16,00	155,5	0,00000199	16320	653,2	4287	15797	615	615	620	617	4541	17725
99A	94,30	60,35	280,00	15934	15500	0,9727	14,21	152,0	0,00000173	14508	681,9	4106	16401	719	719	718	719	3896	14766
99B	118,71	59,84	280,00	19890	17233	0,8664	13,86	169,0	0,00000212	12506	687,3	4074	14380	673	676	673	674	4154	14953
100A	109,65	56,79	280,00	17434	15204	0,8721	12,91	149,1	0,00000167	12127	726,1	3856	12969	680	681	682	681	4112	14743
100B	114,07	60,05	280,00	19178	16448	0,8576	15,67	161,3	0,00000206	15714	642,2	4360	16304	623	619	623	622	4504	17398
101A1	118,80	56,41	280,00	18764	16152	0,8608	13,94	158,4	0,00000178	14141	651,9	4295	15880	741	746	749	745	3757	12148
101A2	117,61	56,53	280,00	18615	15541	0,8349	13,11	152,4	0,00000177	12082	694,8	4030	13558	700	708	707	705	3972	13169
101A3	118,66	52,59	280,00	17473	15989	0,9151	13,39	156,8	0,00000144	15957	619,1	4523	18718	623	625	629	626	4475	18327
101A4	114,98	52,20	280,00	16806	13991	0,8325	14,39	137,2	0,00000136	17018	563,2	4972	20577	601	603	605	603	4643	17950
101A5	109,65	52,49	280,00	16116	14144	0,8776	13,80	138,7	0,00000132	16319	591,9	4731	19639	582	585	589	585	4784	20082
101B1	118,87	60,18	280,00	20029	17029	0,8502	14,48	167,0	0,00000216	13244	650,1	4307	15772	664	663	662	663	4223	15165
101B2	118,51	59,43	240,00	16902	14515	0,8588	-	-	-	-	520,1	4614	18287	551	553	556	553	4337	16156
101B3	118,09	59,41	280,00	19644	18090	0,9209	14,47	177,4	0,00000206	14696	541,5	5171	24622	648	643	643	645	4343	17372
102A1	113,94	59,80	280,00	19076	19140	1,0034	15,07	187,7	0,00000203	17145	625,3	4478	20118	637	639	646	641	4370	19165
102A2	114,26	59,71	280,00	19102	18447	0,9657	14,74	180,9	0,00000203	15835	653,4	4285	17734	655	659	660	658	4255	17487
102A3	108,99	56,45	280,00	17227	15592	0,9051	12,47	152,9	0,00000163	11881	715,1	3916	13876	691	691	695	692	4044	14804
102A4	114,12	56,28	280,00	17984	16550	0,9203	12,31	162,3	0,00000170	11843	687,7	4072	15255	700	699	701	700	4000	14724
102A5	98,93	57,12	280,00	15822	14031	0,8868	13,97	137,6	0,00000154	14271	612,5	4571	18533	633	638	639	637	4398	17153
102A6	108,81	56,73	280,00	17283	16152	0,9346	13,48	158,4	0,00000166	14199	655,7	4270	17042	650	656	659	655	4275	17079

Viga							Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	largura (mm)	espes. (mm)	comprim (cm)	vol. (cm³)	Massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq. (Hz)	Peso (N)	I (cm⁴)	Ed2 (MPa)	tempo (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
102A7	114,92	59,97	280,00	19297	17274	0,8952	15,54	169,4	0,00000207	16169	594,2	4712	19877	640	647	643	643	4352	16957
102B1	117,96	59,68	280,00	19710	19140	0,9711	14,86	187,7	0,00000209	16198	625,3	4478	19471	639	641	644	641	4366	18510
102B2	117,94	52,64	280,00	17384	15765	0,9069	13,54	154,6	0,00000143	16140	617,9	4531	18622	646	647	651	648	4321	16932
102B3	118,45	60,26	280,00	19984	18936	0,9476	13,91	185,7	0,00000216	13585	684,5	4091	15856	677	676	683	679	4126	16129
102B4	118,45	59,83	280,00	19842	18202	0,9173	13,35	178,5	0,00000211	12287	724,0	3867	13720	736	729	728	731	3830	13459
102B5	109,97	55,53	240,00	14654	12615	0,8608	-	-	-	-	516,1	4650	18616	547	545	549	547	4388	16572
102B6	109,83	60,03	280,00	18459	16621	0,9004	18,31	163,0	0,00000198	22538	592,0	4730	20143	631	632	631	631	4435	17712
103A1	118,61	55,59	280,00	18461	16101	0,8722	14,42	157,9	0,00000170	15788	606,9	4614	18564	633	637	638	636	4403	16904
103A2	118,68	56,31	280,00	18713	15051	0,8043	13,56	147,6	0,00000177	12546	688,4	4067	13306	641	642	647	643	4352	15236
103A3	118,60	55,87	240,00	15901	13310	0,8371	-	-	-	-	515,6	4655	18137	542	545	548	545	4404	16233
103A4	114,85	58,92	280,00	18947	17570	0,9273	15,79	172,3	0,00000196	17917	602,4	4648	20035	610	611	613	611	4580	19453
103B1	118,82	56,58	280,00	18823	17009	0,9036	14,17	166,8	0,00000179	15247	660,6	4239	16234	658	655	654	656	4270	16479
103B2	118,61	49,47	240,00	14082	11970	0,8500	-	-	-	-	556,4	4313	15815	590	594	595	593	4047	13923
103B3	119,11	56,03	280,00	18688	16438	0,8796	15,04	161,2	0,00000175	17049	572,0	4895	21077	582	584	589	585	4786	20151
104A1	118,68	56,24	280,00	18686	16754	0,8966	14,90	164,3	0,00000176	16933	601,3	4657	19441	643	646	648	646	4337	16861
104A2	118,46	56,34	280,00	18687	15836	0,8474	13,50	155,3	0,00000177	13090	640,4	4372	16200	648	651	653	651	4303	15693
104A3	118,15	56,39	280,00	18652	16550	0,8873	14,72	162,3	0,00000176	16268	587,3	4768	20168	720	720	721	720	3887	13406
104A4	114,85	55,63	280,00	17888	15092	0,8437	15,46	148,0	0,00000165	17531	578,8	4838	19744	601	601	604	602	4651	18252
104A5	110,02	55,08	280,00	16969	15112	0,8906	14,76	148,2	0,00000153	17203	579,0	4836	20827	620	622	623	622	4504	18067
104B1	118,51	59,76	280,00	19828	17478	0,8815	14,91	171,4	0,00000211	14764	604,8	4630	18894	619	625	626	623	4492	17787
104B2	118,12	59,60	240,00	16897	15005	0,8880	-	-	-	-	563,1	4622	16132	578	582	583	581	4131	15153
104B3	119,01	59,19	240,00	16905	14655	0,8669	-	-	-	-	507,3	4731	19403	552	602	602	585	4100	14574
104B4	118,89	53,17	280,00	17699	15673	0,8856	13,28	153,7	0,00000149	14863	610,7	4585	18615	630	636	637	634	4414	17254
105A1	117,53	52,66	280,00	17329	16550	0,9550	13,07	162,3	0,00000143	15827	612,2	4574	19978	650	659	657	655	4273	17435
105A2	112,81	55,39	280,00	17496	16305	0,9319	13,31	159,9	0,00000160	14477	653,1	4287	17130	672	671	672	672	4169	16196
105A3	94,33	53,27	280,00	14069	12502	0,8886	13,38	122,6	0,00000119	15084	591,2	4736	19932	612	617	612	614	4563	18500
105A4	119,14	56,30	280,00	18779	17743	0,9449	14,00	174,0	0,00000177	15721	594,5	4710	20959	641	643	644	643	4357	17935
105A5	118,65	59,37	280,00	19723	19303	0,9787	14,98	189,3	0,00000207	16766	614,8	4554	20301	645	646	645	645	4339	18425
105A6	83,90	59,38	240,00	11955	9870	0,8256	-	-	-	-	473,4	5070	21219	499	499	497	498	4816	19149
105B1	109,61	56,40	280,00	17307	15408	0,8903	14,42	151,1	0,00000164	15659	592,5	4726	19882	640	642	644	642	4361	16934
105B2	109,14	55,79	280,00	17048	15908	0,9331	15,24	156,0	0,00000158	18733	588,9	4755	21094	620	627	624	624	4490	18808
105B3	109,11	56,07	280,00	17129	14755	0,8614	13,47	144,7	0,00000160	13374	657,8	4257	15608	638	641	644	641	4368	16436
105B4	109,04	55,61	280,00	16978	15969	0,9406	15,04	156,6	0,00000156	18510	590,2	4744	21169	634	630	630	631	4435	18501
106A1	109,68	56,49	280,00	17348	15836	0,9128	14,85	155,3	0,00000165	16970	577,9	4845	21429	609	611	607	609	4598	19296
106A2	117,38	56,41	280,00	18539	16020	0,8641	13,69	157,1	0,00000176	13693	681,3	4110	14595	666	669	662	666	4206	15289
106A3	113,83	56,13	280,00	17890	16112	0,9006	14,20	158,0	0,00000168	15506	605,3	4626	19271	641	644	646	644	4350	17042
106B1	117,88	56,20	280,00	18549	16897	0,9109	14,24	165,7	0,00000174	15735	591,9	4731	20384	615	619	621	618	4528	18679
106B2	117,90	60,08	280,00	19834	18406	0,9280	14,23	180,5	0,00000213	14004	667,5	4195	16329	666	667	668	667	4198	16354
106B3	117,79	59,23	280,00	19535	17998	0,9213	15,43	176,5	0,00000204	16821	595,2	4704	20390	628	630	631	630	4447	18218
107A1	118,55	59,70	280,00	19815	18488	0,9330	16,47	181,3	0,00000210	19106	587,3	4768	21207	601	602	610	604	4633	20028
107A2	118,87	59,80	280,00	19902	17702	0,8895	13,80	173,6	0,00000212	12744	702,1	3988	14146	691	694	696	694	4037	14492
107A3	118,53	56,04	280,00	18599	17458	0,9386	14,35	171,2	0,00000174	18558	605,9	4621	20045	639	641	639	640	4377	17985
107A4	118,11	58,78	280,00	19439	18171	0,9348	15,72	178,2	0,00000200	17987	595,2	4704	20687	634	635	631	633	4421	18271
107B1	117,58	56,90	280,00	18734	16265	0,8682	14,59	159,5	0,00000181	15355	640,2	4374	16607	659	661	662	661	4238	15594
107B2	115,44	56,37	280,00	18220	15908	0,8731	14,98	156,0	0,00000172	16589	585,6	4781	19960	620	619	611	617	4541	18000
107B3	117,78	56,57	280,00	18655	16448	0,8817	14,54	161,3	0,00000178	15671	593,4	4719	19630	607	607	613	609	4598	18638

Viga							Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	largura (mm)	espes. (mm)	comprim (cm)	vol. (cm³)	Massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq. (Hz)	Peso (N)	I m⁴	Ed2 (MPa)	tempo (µs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (Mpa)	t1 (µs)	t2 (µs)	t3 (µs)	t médio (µs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
107B4	109,35	52,76	280,00	16154	13501	0,8358	14,11	132,4	0,00000134	16082	578,7	4838	19566	581	585	589	585	4786	19147
108A1	118,49	59,41	280,00	19712	18620	0,9446	15,11	182,6	0,00000207	16437	604,4	4633	20273	653	654	648	652	4297	17439
108A2	118,46	59,77	280,00	19825	18263	0,9212	13,56	179,1	0,00000211	12755	700,5	3997	14718	693	698	699	697	4019	14881
108A3	117,52	59,62	280,00	19616	18824	0,9596	14,99	184,6	0,00000207	16322	636,1	4402	18594	637	640	642	640	4377	18387
108A4	118,62	55,82	280,00	18539	17254	0,9306	14,18	169,2	0,00000172	16158	606,3	4618	19848	644	644	646	645	4343	17556
108B1	118,49	59,42	280,00	19713	18151	0,9208	15,43	178,0	0,00000207	16703	598,7	4677	20139	621	633	628	627	4463	18343
108B2	118,28	59,90	280,00	19838	18171	0,9160	14,75	178,2	0,00000212	14941	647,1	4327	17150	640	642	642	641	4366	17460
108B3	118,14	60,07	240,00	17032	15642	0,9184	-	-	-	-	547,8	4381	17628	549	555	553	552	4345	17340
109A1	118,53	59,45	280,00	19731	17998	0,9122	14,54	176,5	0,00000208	14679	685,7	4083	15210	671	673	674	673	4163	15805
109A2	118,16	55,71	280,00	18431	16448	0,8924	14,30	161,3	0,00000170	15820	600,1	4666	19428	612	615	616	614	4558	18538
109A3	118,22	44,32	280,00	14671	13501	0,9203	13,36	132,4	0,00000086	22494	546,4	5124	24166	575	575	571	574	4881	21924
109B1	118,81	56,52	280,00	18802	16377	0,8710	13,96	160,6	0,00000179	14293	629,3	4449	17243	661	661	669	664	4219	15503
109B2	118,21	60,24	280,00	19937	18783	0,9421	15,14	184,2	0,00000215	16011	609,2	4596	19902	638	632	639	636	4400	18241
110A1	114,60	60,20	280,00	19316	16530	0,8557	14,45	162,1	0,00000208	13265	669,3	4183	14977	631	633	632	632	4430	16797
110A2	114,14	59,20	280,00	18919	17886	0,9454	15,85	175,4	0,00000197	18233	603,6	4639	20344	618	619	622	620	4519	19302
110A3	118,89	56,13	240,00	16015	13810	0,8623	-	-	-	-	493,8	4860	20370	534	535	539	536	4478	17289
110A4	118,33	55,08	280,00	18249	16530	0,9058	14,47	162,1	0,00000165	16817	584,8	4788	20764	597	598	602	599	4674	19792
110B1	118,60	52,50	280,00	17433	15479	0,8880	14,41	151,8	0,00000143	17998	567,9	4930	21585	593	594	590	592	4727	19841
110B2	118,55	55,87	240,00	15897	13805	0,8684	-	-	-	-	573,7	4183	15197	573	574	567	571	4201	15324
110B3	118,67	52,81	280,00	17547	14919	0,8502	14,53	146,3	0,00000146	17314	543,2	5155	22590	590	591	594	592	4732	19040
Mínimo	79,81	44,32	240,00	10668	7595	0,6532	11,21	95,7	0,00000085	8591	473,4	3744	12411	499	499	497	498	3443	10764
Máximo	119,77	60,55	280,00	20151	19681	1,0429	18,31	193,0	0,00000219	22538	747,8	5171	24622	811	811	818	813	5257	21924
Médio	113,31	57,29	275,42	17894	15627	0,8722	14,10	157,2	0,00000180	14429	630,3	4389	16807	647	649	649	648	4263	15837
D. Padrão	8,41	2,86	12,75	1927	2260	0,0753	1,00	19,1	0,00000029	2363	52,0	279	2180	50	50	50	50	257	1833
C. V. (%)	7,42	4,99	4,63	10,77	14,46	8,63	7,09	12,17	16,19	16,37	8,26	6,35	12,97	7,75	7,72	7,77	7,72	6,04	11,58

ANEXO C – Classificação visual dos defeitos
Vigas na umidade de equilíbrio

Viga					Bolsa goma veio kino	Empenamentos				Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE	
	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)		Arqueam. (mm/m)	Encançam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim.	espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)											
1A	118,29	55,60	280,00	3312,12				sim										235,64			342,50	5	
1B	119,62	50,34	280,00	3349,22				sim										201,18	78,48	7,19	57,50	5	
2A	114,77	55,77	280,00	3213,56				sim										110,00	14,47	74,68	85,00	5	
2B	111,76	53,45	280,00	3129,21				sim										154,26			36,07	4	
3A	114,90	59,42	280,00	3217,27					15,8	87,0	33,2							206,35				4	
3B	114,51	59,42	280,00	3206,14				sim	30,1	90,8	37,9							192,41			12,50	4	
4A	114,36	59,64	280,00	3202,01					31,2	83,9	17,0				sim			80,69	125,48		113,57	5	
4B	118,10	56,80	280,00	3306,87					12,0	94,8	10,0							132,19	13,01		26,79	4	
5A	118,54	56,74	280,00	3319,05				sim										275,04				4	
5B	109,49	56,45	240,00	2627,70														164,61			630,42	5	
6A	118,59	60,18	280,00	3320,45											sim			200,79		18,83	99,29	5	
6B	103,62	59,84	280,00	2901,43				sim	33,2	87,8	28,2							127,70		49,00		4	
7A1	118,71	60,07	280,00	3323,95				sim										218,16			32,14	4	
7B1	94,29	55,92	280,00	2639,98				sim	8,8	95,5	40,3							123,96			33,21	4	
8A	118,04	60,44	280,00	3305,19														419,48			159,64	5	
8B	118,56	57,00	280,00	3319,75											sim			149,33			32,50	5	
9A	118,60	59,64	240,00	2846,40				sim										210,05	113,19	8,74	46,67	5	
9B	118,31	56,83	280,00	3312,68				sim										329,65	22,41		23,21	4	
10A	118,62	59,90	280,00	3321,22				sim										154,57			375,00	5	
10B	118,14	59,63	280,00	3307,78											sim			51,66	45,63		188,21	5	
11A1	109,38	53,00	280,00	3062,64				sim										235,40		82,51		5	
11A2	108,84	45,77	280,00	3047,59				sim												40,32	87,17	730,71	5
11B	118,50	60,09	280,00	3317,93				sim										3639,92		7,51	577,86	5	
12A	114,56	59,70	280,00	3207,75				sim										27,12	78,62	41,83	80,54	5	
12B	118,69	56,68	280,00	3323,39				sim										480,81			240,71	5	
13A	118,13	56,91	280,00	3307,57				sim										97,64	50,03	78,21	325,71	5	
13B1	118,10	58,72	280,00	3306,73				sim										85,94	43,37	43,14	301,43	5	
14A1	118,59	56,55	280,00	3320,45				sim										248,41			116,79	4	
14B1	118,59	59,83	280,00	3320,45				sim	28,1	94,4	4,0							120,91			73,21	4	
15A	118,87	56,66	280,00	3328,29														543,58			326,79	5	
15B	114,44	60,28	280,00	3204,32				sim										252,11			151,07	5	
16A1	113,77	59,19	280,00	3185,63				sim										116,44		14,06	84,29	4	
16A2	114,68	49,65	280,00	3211,04				sim										32,16	25,16		42,86	4	
16B	117,97	59,74	280,00	3303,23				sim										124,77	71,20	26,45	627,14	5	
17A1	118,77	59,70	280,00	3325,49				sim									sim	274,91			30,36	5	
17A2	119,77	55,80	280,00	3353,56				sim	22,9	91,8	34,8			sim				241,83				5	
17B1	118,88	59,27	280,00	3328,71				sim										335,86	62,70		1009,29	5	
17B2	118,59	60,40	280,00	3320,59				sim										133,79	24,72		483,93	5	
18A1	118,83	59,86	240,00	2851,80				sim										77,94			942,08	5	
18A2	118,60	55,36	280,00	3320,66				sim	7,9	89,4	44,4							33,76	98,46	8,26		5	
18B	118,66	60,25	280,00	3322,41																	357,86	5	
19A1	118,83	56,03	280,00	3327,10				sim										105,06			128,93	4	
19A2	118,98	49,63	280,00	3331,37				sim										145,14			418,57	5	
19B1	118,64	59,92	280,00	3321,85				sim										297,02			767,50	5	
20A1	117,78	55,97	280,00	3297,70				sim												48,67	77,30	157,50	5
20A2	118,88	49,18	280,00	3328,71				sim	41,0	59,4	33,9											4	
20B	119,00	60,13	280,00	3331,93				sim										120,69	46,91	14,63	1000,00	5	
21A	114,84	56,48	280,00	3215,45				sim										361,68			137,50	4	
21B	118,43	59,46	280,00	3315,97					22,1	12,2	12,7							197,85	34,44		42,86	4	
22A	118,03	56,53	280,00	3304,91														54,55			47,86	2	
22B	102,83	59,76	280,00	2879,24					29,2	59,3	51,7							99,82				5	
23A	117,94	59,12	280,00	3302,18				sim										298,49			32,14	4	
23B	118,20	59,30	280,00	3309,53														306,75			27,14	3	
24A	109,41	55,98	280,00	3063,41											sim			204,63	67,78		63,57	5	
24B	109,14	56,35	280,00	3055,85														4600,70			124,29	4	
25A	118,04	56,35	280,00	3305,05					80,5	71,2	50,8							131,67				5	
25B	84,65	56,33	280,00	2370,13														176,19				3	
26A	108,69	56,66	280,00	3043,39														260,07	153,61	16,64	158,57	5	
26B	114,26	56,36	280,00	3199,28					9,5	94,5	8,5							339,52			19,64	3	
27A	118,60	56,65	280,00	3320,80					15,3	96,1	7,7							144,69				3	

Viga	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)	Bolsa goma veio kino	Empenamentos				Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE
						Arqueam. (mm/m)	Encanoam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim. (mm/m)	espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)										
27B	102,18	56,38	240,00	2452,26				4,2										55,08		38,48	867,92	5
28A	118,31	60,05	280,00	3312,68														156,85			193,57	5
28B	118,02	56,81	280,00	3304,63														193,11		59,50	68,57	4
29A	118,62	56,18	280,00	3321,29														172,94			93,21	3
29B	117,79	52,93	280,00	3298,19						9,3	93,4	19,4						123,76	68,98			4
31A1	97,89	56,26	280,00	2740,99														32,38		19,72	71,79	4
31B	79,81	56,57	240,00	1915,32														49,29	33,87			4
32A	103,53	56,20	280,00	2898,91														111,70	21,87	40,97	58,21	4
32B	117,63	56,33	280,00	3293,57														128,25			76,07	4
33A	97,74	58,81	240,00	2345,70																	200,00	5
33B	109,86	55,57	240,00	2636,58														90,89				4
34A	109,66	55,94	280,00	3070,34														46,94			76,07	4
34B	114,21	59,82	280,00	3197,95														49,95			59,29	4
35A1	109,21	56,44	280,00	3057,74														190,44			302,14	5
35A2	108,86	53,42	280,00	3048,01														199,77				5
35B	114,81	59,78	280,00	3214,68														148,02			102,50	4
36A	99,07	56,77	240,00	2377,56														29,84				4
36B	82,50	55,46	280,00	2309,86														170,03			31,79	4
37A	93,57	57,22	280,00	2619,89														78,35				4
37B	83,92	52,97	240,00	2014,08														68,06				5
38A	102,42	55,72	280,00	2867,69														90,41			218,57	5
38B	93,43	56,21	280,00	2616,11														142,32			47,50	5
39A	98,98	59,90	280,00	2771,30														35,23	35,33		75,00	4
39B	83,52	56,40	280,00	2338,42														57,76	49,50		30,36	4
40A	93,77	52,93	280,00	2625,63														97,35	54,35		37,86	4
40B	82,95	60,33	280,00	2322,60														136,70			28,57	4
41A	118,35	60,21	280,00	3313,73														99,10	36,27	92,91	196,43	5
41B	103,91	60,12	280,00	2909,41														65,23		177,21	253,57	5
42A	108,68	56,98	280,00	3042,90														131,03	45,82		748,21	5
42B	117,94	60,13	280,00	3302,32														188,26		57,32	251,07	5
43A	115,11	59,38	280,00	3223,01														322,15			356,07	5
43B	118,17	55,89	280,00	3308,76														134,39	24,29	24,39	908,21	5
44A	117,48	56,70	280,00	3289,44														224,41	57,07	18,37	238,57	5
44B	114,93	55,88	280,00	3217,97														183,15			116,07	4
45A	117,72	56,88	280,00	3296,23														122,67			307,86	5
45B	108,84	60,09	280,00	3047,45														149,33		118,56	278,93	5
46A	119,00	60,48	280,00	3332,07														156,59			350,00	5
46B	109,63	59,69	280,00	3069,50														95,17		87,75	461,79	5
47A1	109,50	59,83	280,00	3065,93														274,52		142,07	1000,00	5
47A2	109,81	45,20	280,00	3074,68																165,35		5
47B	117,16	59,09	240,00	2811,90														245,14			812,50	5
48A1	118,17	56,06	280,00	3308,69																168,76		5
48A2	118,52	49,19	280,00	3318,63														71,54	119,48		735,00	5
48B	118,44	60,27	240,00	2842,44														94,55	35,67	19,14	607,92	5
49A1	118,56	60,23	280,00	3319,61														376,95			759,64	5
49A2	118,53	49,06	280,00	3318,91														189,54				5
49B	118,53	56,64	280,00	3318,77														82,62		38,02	376,07	5
50A1	114,52	56,14	280,00	3206,49														215,32			571,79	5
50A2	114,64	53,57	280,00	3209,92														284,36			105,00	4
50B	118,79	60,24	280,00	3326,05														392,27			582,14	5
51A1	117,49	56,77	280,00	3289,79														84,63	93,87	18,00		5
51A2	117,97	56,33	280,00	3303,16														47,98			14,64	5
51B	114,25	59,37	280,00	3199,07														66,15	25,71	6,69	169,29	5
52A	114,70	58,74	240,00	2752,74	sim													120,48			191,67	5
52B	94,31	56,40	240,00	2263,50														113,28			15,42	5
53A1	118,40	56,35	280,00	3315,13	6,96													167,68				5
53A2	118,28	59,65	280,00	3311,77														27,32	41,32	30,75		5
53B1	118,36	56,65	240,00	2840,52														147,92			365,00	5
53B2	118,57	49,16	280,00	3319,82														68,58				5
54A	118,76	60,12	280,00	3325,14														89,01				5
54B	102,87	58,78	280,00	2880,22														192,34			147,86	5

Viga	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)	Bolsa goma veio kino	Empenamentos				Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE	
						Arqueam. (mm/m)	Encanoam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim. (mm/m)	espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)											
55A	117,59	59,20	280,00	3292,45					sim					sim				1806,00		25,03		5	
55B	118,28	59,99	280,00	3311,84						21,6	88,8	11,2		sim				152,78			28,57	5	
56A	118,22	59,44	280,00	3310,02					sim									286,32			17,86	4	
56B	118,20	59,20	280,00	3309,46										sim				184,90			37,14	5	
57A	109,29	52,93	280,00	3060,05					sim					sim				88,43	52,06	88,43		5	
57B	118,53	56,53	280,00	3318,70						41,6	83,5	10,2		sim				168,07			105,00	5	
58A	117,97	56,53	280,00	3303,02					sim	29,2	88,2	8,2		sim				61,04			405,00	5	
58B	114,16	59,58	280,00	3196,55										sim				180,59			34,29	5	
59A	117,99	60,41	280,00	3303,79					sim					sim				180,63				5	
59B	109,35	59,51	280,00	3061,87										sim				194,64	78,09		71,43	5	
60A	118,25	55,75	280,00	3310,93					sim	39,0	88,8	8,8		sim				112,70			54,29	5	
60B	117,67	59,65	280,00	3294,69					sim					sim				144,75			53,57	5	
61A	118,33	56,30	240,00	2839,98					sim									89,62				5	
61B	93,77	54,54	280,00	2625,63					sim	17,5	87,4	22,9						122,36		6,88	300,36	5	
62A	117,97	60,23	280,00	3303,02						10,3	96,6	9,5						109,30			282,86	5	
62B	82,36	59,81	240,00	1976,58					sim									75,27	26,11	8,31	617,08	5	
63A	118,10	59,84	280,00	3306,73						26,5	92,3	14,7						238,79			397,50	5	
63B	98,55	56,56	280,00	2759,40					sim									167,14			503,57	5	
64A	117,58	56,51	280,00	3292,31					sim	9,8	96,1	10,5						102,08			204,29	5	
64B	98,26	56,53	240,00	2358,24														110,08		6,93	616,67	5	
65A	118,08	56,24	280,00	3306,17					sim	85,8	7,6	4,1		sim				12,18		7,00		5	
65B	103,38	60,07	280,00	2894,50					sim									170,75		56,13	23,21	4	
66A	117,94	59,79	280,00	3302,18					sim									252,86			259,64	5	
66B	99,25	56,23	280,00	2778,86					sim	12,9	95,7	13,2		sim				145,05			397,86	5	
67A	117,84	59,85	280,00	3299,59					sim									124,78	62,15		195,36	5	
67B	118,75	55,94	280,00	3324,86					sim	21,3	92,6	36,9						128,85			267,86	5	
68A	118,12	56,70	280,00	3307,29					sim									220,66		15,64	354,29	5	
68B	92,51	60,00	240,00	2220,24						13,3	87,6	26,4						153,18			144,17	4	
69A	117,97	59,17	280,00	3303,02					sim					sim				41,44		47,37	491,43	5	
69B	109,46	55,34	280,00	3064,95					sim	46,4	63,9	22,8						20,74	23,94	28,42	166,07	5	
70A	114,64	59,48	280,00	3209,92					sim					sim				126,76	85,87	19,08	475,71	5	
70B	109,60	56,31	280,00	3068,80					sim	47,9	26,5	37,5						27,76	15,55	45,20	403,57	5	
71A	109,92	55,45	280,00	3077,83						21,9	91,9	3,9						183,87				3	
72A	118,09	58,99	280,00	3306,52					sim					sim				150,13			108,57	5	
72B	114,83	59,31	280,00	3215,24					sim									222,19			179,64	5	
73A	117,78	59,66	280,00	3297,77					sim					sim				20,26	10,89		79,29	5	
73B	114,57	59,66	280,00	3207,89					sim	66,5	65,5	37,6						158,99			130,71	5	
74A	118,48	60,26	280,00	3317,30					sim									227,23			25,00	4	
74B	118,34	59,19	280,00	3313,59					sim									23,17		81,38	82,86	5	
75A	109,24	56,47	280,00	3058,79					sim	7,9	94,3	11,3						134,83			47,86	4	
75B	109,60	52,55	280,00	3068,87					sim	23,9	91,2	13,1						97,21	93,06		12,50	5	
76A	118,50	60,14	280,00	3317,86					sim									59,93			241,07	5	
76B	118,77	59,60	280,00	3325,42					sim							258,00		336,35			546,43	5	
77A	118,27	59,58	240,00	2838,54					sim									141,68			729,17	5	
77B	117,92	60,39	280,00	3301,69					sim	15,5	91,6	36,8						60,48	36,66		48,21	4	
78A1	117,81	56,66	280,00	3298,61					sim					sim					49,45	11,56			5
78A2	109,98	47,07	280,00	3079,37					sim	19,3	90,9	12,7						88,77	20,05	7,57		4	
78B	117,57	58,87	240,00	2821,56					sim									109,65	43,23		601,67	5	
79A	118,97	60,22	280,00	3331,09					sim									256,37				4	
79B	119,22	59,07	280,00	3338,16					sim									128,97	18,91	77,76	365,00	5	
80A1	98,81	56,23	280,00	2766,61					sim					sim				204,53			517,14	5	
80A2	118,00	60,10	280,00	3303,93					sim	20,1	86,4	25,8							221,70	24,73		17,50	5
80B1	118,75	56,85	280,00	3325,00					sim	15,6	96,8	24,8						208,75			513,21	5	
80B2	83,23	58,67	280,00	2330,37														352,94				3	
81A	118,44	59,51	240,00	2842,50					sim					sim				203,52				5	
81B	108,86	56,39	280,00	3048,08					sim									130,99			218,57	5	
82A	117,74	59,85	280,00	3296,65					sim					sim				128,89		86,10	738,93	5	
82B	118,05	59,98	280,00	3305,26					sim									132,02			173,57	5	
83A	114,13	56,18	280,00	3195,50					sim					sim				367,65			140,00	5	
83B	117,33	56,04	280,00	3285,10					sim									85,52		39,33	175,36	5	
84A	114,80	60,35	280,00	3214,47					sim					sim				56,66		69,94	148,21	5	

Viga	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)	Bolsa goma veio kino	Empenamentos				Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE	
						Arqueam. (mm/m)	Encarcam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim.	espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)											
84B	109,84	59,20	280,00	3075,52					sim	25,7	91,0	13,4			sim			58,18	65,66		191,07	5	
85A	117,98	56,48	280,00	3303,44					sim						sim			233,05			380,00	5	
85B	108,58	55,77	280,00	3040,31					sim									96,79			154,64	5	
86A	114,03	56,26	280,00	3192,84											sim			205,98			183,93	5	
86B	118,29	56,23	280,00	3311,98					sim						sim			145,09			58,93	5	
87A	98,67	55,85	280,00	2762,62						26,4	91,2	25,0						59,58			508,21	5	
87B	104,41	60,55	280,00	2923,55					sim									219,58			411,79	5	
88A	114,23	56,50	280,00	3198,51					sim						sim			285,76			436,07	5	
88B	117,65	56,39	280,00	3294,06					sim						sim			141,74			181,07	5	
89A	114,13	56,86	280,00	3195,64					sim									307,60			717,14	5	
89B	114,35	56,08	280,00	3201,66					sim						sim			32,84	96,61		761,07	5	
90A1	118,40	55,66	280,00	3315,20					sim						sim			234,89			653,57	5	
90A2	118,51	56,24	240,00	2844,30					sim						sim			309,48				5	
90B	118,54	55,78	280,00	3319,19					sim						sim			191,76		18,53	1004,64	5	
91A	104,31	59,11	280,00	2920,75					sim	20,5	82,4	18,4						218,81			149,64	4	
91B	118,43	59,75	280,00	3315,90					sim									44,96	25,27	33,99	116,07	4	
92A	118,54	59,99	280,00	3319,05					sim						sim			301,51			495,00	5	
92B	109,60	59,65	280,00	3068,80					sim	19,5	93,1	6,1						247,27	38,79	39,46	195,36	5	
93A	118,25	56,79	280,00	3311,07					sim						sim			135,70	27,92			5	
93B	117,79	60,06	280,00	3298,05						8,4	97,6	12,7						246,44			83,57	3	
94A1	114,26	59,84	280,00	3199,21			5,0											187,29			33,93	3	
94B	117,79	55,94	280,00	3298,12					sim									218,99			363,21	5	
95A	117,89	60,06	240,00	2829,24					sim									347,62			204,17	5	
95B	118,69	56,49	240,00	2848,44					sim	27,4	91,0	22,3						112,06		16,08	61,67	4	
96A	109,12	56,60	240,00	2618,76														223,23			172,92	5	
96B	118,48	56,30	280,00	3317,30					sim												112,14	4	
97A	118,87	56,92	280,00	3328,29					sim									407,91			667,50	5	
97B	115,14	59,80	280,00	3223,92					sim	24,8	88,6	24,9						133,78	17,10	49,73	468,21	5	
98A	118,09	56,76	280,00	3306,45					sim	17,2	94,8	16,6						206,91				4	
98B	109,36	60,23	280,00	3062,08					sim	8,7	96,9	24,2						120,89			216,43	5	
99A	94,30	60,35	280,00	2640,33	80,36					10,5	96,5	9,3						526,66			133,21	5	
99B	118,71	59,84	280,00	3323,95	206,79					29,8	91,0	1,4						420,09			326,07	5	
100A	109,65	56,79	280,00	3070,13					sim						sim			210,75		53,55	255,71	5	
100B	114,07	60,05	280,00	3193,96					sim									23,28	14,67	80,70	117,50	5	
101A1	118,80	56,41	280,00	3326,26														38,95			21,07	2	
101A2	117,61	56,53	280,00	3293,15					sim						sim			42,60	85,61	15,73	328,93	5	
101A3	118,66	52,59	280,00	3322,34														13,19	19,83	12,43		5	
101A4	114,98	52,20	280,00	3219,30																14,05		4	
101A5	109,65	52,49	280,00	3070,27					sim									108,22		16,90		4	
101B1	118,87	60,18	280,00	3328,43					sim									74,53				4	
101B2	118,51	59,43	240,00	2844,18					sim											39,69		4	
101B3	118,09	59,41	280,00	3306,52					sim									85,50			231,79	5	
102A1	113,94	59,80	280,00	3190,25					sim									9,41				4	
102A2	114,26	59,71	280,00	3199,35				3,9												18,63	6,59	95,36	4
102A3	108,99	56,45	280,00	3051,58					sim									336,73	102,63	19,44	312,86	5	
102A4	114,12	56,28	280,00	3195,36					sim									237,72			305,00	5	
102A5	98,93	57,12	280,00	2769,97					sim	24,7	83,9	83,8										5	
102A6	108,81	56,73	280,00	3046,75					sim												26,43	4	
102A7	114,92	59,97	280,00	3217,69				3,9										21,87			24,29	2	
102B1	117,96	59,68	280,00	3302,74					sim									94,75	25,92	11,97		4	
102B2	117,94	52,64	280,00	3302,18														14,90				2	
102B3	118,45	60,26	280,00	3316,53					sim									111,33			24,64	4	
102B4	118,45	59,83	280,00	3316,46														323,34			73,57	3	

Viga	largura média (mm)	espes. média (mm)	comprim (cm)	Área (cm²)	Bolsa goma veio kino	Empenamentos				Esmoado			Fendilhado	Fissuras compressão	Furos Inseto	Mad. Ardida podridão	Medula	firmes (mm)	Nós cariados (mm)	soltos (mm)	Rachas comprim. (mm/m)	CLASSE
						Arqueam. (mm/m)	Encanoam. (mm/m)	Encurvam. (mm/m)	Torcim.	espes. (%)	larg. (%)	comprim. (%)										
102B5	109,97	55,53	240,00	2639,22					sim											17,84		4
102B6	109,83	60,03	280,00	3075,10	10,05				sim									127,08				4
103A1	118,61	55,59	280,00	3321,01					sim									229,76				4
103A2	118,68	56,31	280,00	3323,11					sim						sim			44,43	35,47			5
103A3	118,60	55,87	240,00	2846,28					sim									40,25				4
103A4	114,85	58,92	280,00	3215,66					sim						sim			35,72			28,57	5
103B1	118,82	56,58	280,00	3326,82					sim											20,19	95,00	4
103B2	118,61	49,47	240,00	2846,64					sim									190,36			1000,00	5
103B3	119,11	56,03	280,00	3335,15					sim									24,68		20,46		4
104A1	118,68	56,24	280,00	3322,90					sim									100,61			14,29	4
104A2	118,46	56,34	280,00	3316,88					sim									235,19			57,14	3
104A3	118,15	56,39	280,00	3308,06					sim									90,65			33,21	4
104A4	114,85	55,63	280,00	3215,66			6,1															2
104A5	110,02	55,08	280,00	3080,63					sim	25,6	88,2	9,6						59,39				4
104B1	118,51	59,76	280,00	3318,14					sim									144,77				4
104B2	118,12	59,60	240,00	2834,94					sim									127,59			79,17	4
104B3	119,01	59,19	240,00	2856,30					sim									157,70				4
104B4	118,89	53,17	280,00	3328,85					sim									148,57		13,79		4
105A1	117,53	52,66	280,00	3290,77					sim									91,17			19,29	4
105A2	112,81	55,39	280,00	3158,68				8,2	sim									150,00				4
105A3	94,33	53,27	280,00	2641,31					sim									39,28		31,62		4
105A4	119,14	56,30	280,00	3335,78											sim			4,86			33,93	5
105A5	118,65	59,37	280,00	3322,27					sim	14,1	86,8	18,7									52,50	4
105A6	83,90	59,38	240,00	2013,54					sm													4
105B1	109,61	56,40	280,00	3068,94					sim									164,63	13,76	31,59		4
105B2	109,14	55,79	280,00	3055,92					sim													4
105B3	109,11	56,07	280,00	3055,01					sim									165,30			367,86	5
105B4	109,04	55,61	280,00	3053,19					sim													4
106A1	109,68	56,49	280,00	3071,04					sim									145,29				4
106A2	117,38	56,41	280,00	3286,64					sim									206,57			52,50	4
106A3	113,83	56,13	280,00	3187,17					sim									63,71				4
106B1	117,88	56,20	280,00	3300,71					sim									160,97	16,60	15,28		4
106B2	117,90	60,08	280,00	3301,13					sim									177,55		14,15	118,93	4
106B3	117,79	59,23	280,00	3298,12					sim									57,78		44,25		4
107A1	118,55	59,70	280,00	3319,40				6,4							sim							5
107A2	118,87	59,80	280,00	3328,29					sim									145,30			301,43	5
107A3	118,53	56,04	280,00	3318,84					sim									197,91				4
107A4	118,11	58,78	280,00	3307,08				3,6										34,39				2
107B1	117,58	56,90	280,00	3292,24					sim									92,93	46,81		226,79	5
107B2	115,44	56,37	280,00	3232,39					sim									115,53				4
107B3	117,78	56,57	280,00	3297,91				13,9										61,17				3
107B4	109,35	52,76	280,00	3061,73					sim									84,82		17,92	23,21	4
108A1	118,49	59,41	280,00	3317,79					sim													4
108A2	118,46	59,77	280,00	3316,95					sim									110,22	17,60	8,30	132,14	4
108A3	117,52	59,62	280,00	3290,42					sim						sim					7,70		5
108A4	118,62	55,82	280,00	3321,43					sim									113,22			32,50	4
108B1	118,49	59,42	280,00	3317,58					sim									111,58				4
108B2	118,28	59,90	280,00	3311,77					sim									154,07			19,64	4
108B3	118,14	60,07	240,00	2835,30					sim									8,22				4
109A1	118,53	59,45	280,00	3318,91					sim									166,88	40,30		373,93	5
109A2	118,16	55,71	280,00	3308,55					sim									128,60	16,41			4
109A3	118,22	44,32	280,00	3310,02					sim									83,61				4
109B1	118,81	56,52	280,00	3326,54				7,7										45,52		41,65		4
109B2	118,21	60,24	280,00	3309,81					sim									102,01	74,45		42,14	5
110A1	114,60	60,20	280,00	3208,80														97,11			405,00	5
110A2	114,14	59,20	280,00	3195,92					sim									90,05	14,54			4
110A3	118,89	56,13	240,00	2853,24					sim									60,21	58,03			4
110A4	118,33	55,08	280,00	3313,24					sim									29,41				4
110B1	118,60	52,50	280,00	3320,66														87,73				3
110B2	118,55	55,87	240,00	2845,26					sim									121,20			229,17	5
110B3	118,67	52,81	280,00	3322,76					sim	7,2	92,7	9,6			sim			30,14		10,81		5

ANEXO D – Ensaaios não-destrutivos
Vigas na umidade de equilíbrio

Viga	Comprim. (cm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	massa (g)	Dens. (g/cm³)	Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
						Freq (Hz)	Peso (N)	l (m ⁷)	Ed2 (MPa)	t (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
1A	280,00	114,15	54,04	11615	0,6724	15,30	113,90	0,00000150	14501	545,00	5138	17749	578	580	582	580	4828	15672
1B	280,00	116,75	48,80	10789	0,6762	13,63	105,80	0,00000113	14190	548,00	5109	17655	588	589	590	589	4754	15282
2A	280,00	112,53	53,58	12053	0,7139	14,50	118,20	0,00000144	14064	566,90	4939	17416	593	593	598	595	4709	15827
2B	280,00	109,71	51,68	10840	0,6828	14,62	106,30	0,00000126	14703	542,30	5163	18203	584	580	586	583	4800	15732
3A	280,00	113,22	57,81	12155	0,6633	16,08	119,20	0,00000182	13805	560,30	4997	16564	606	606	606	606	4620	14160
3B	280,00	112,97	58,27	13205	0,7164	15,38	129,50	0,00000186	13426	558,00	5018	18039	598	598	601	599	4674	15654
4A	280,00	111,01	57,50	11706	0,6550	16,17	114,80	0,00000176	13933	549,50	5096	17006	589	591	591	590	4743	14735
4B	280,00	115,47	54,26	11370	0,6481	16,07	111,50	0,00000154	15293	530,10	5282	18082	560	565	564	563	4973	16030
5A	280,00	117,91	56,04	12492	0,6752	15,13	122,50	0,00000173	13240	542,40	5162	17993	591	592	596	593	4722	15053
5B	240,00	106,15	54,36	9120	0,6585	-	-	-	-	444,20	5403	19224	470	472	471	471	5096	17098
6A	280,00	116,58	58,64	13073	0,6829	16,52	128,20	0,00000196	14580	530,40	5279	19032	570	573	573	572	4895	16365
6B	280,00	101,76	58,46	11054	0,6636	17,08	108,40	0,00000169	15237	516,90	5417	19471	558	558	560	559	5012	16669
7A1	280,00	117,05	58,83	12971	0,6727	15,93	127,20	0,00000199	13270	571,10	4903	16171	582	583	584	583	4803	15517
7B1	280,00	91,47	54,07	9055	0,6539	16,27	88,80	0,00000120	15930	515,40	5433	19299	549	551	551	550	5088	16927
8A	280,00	116,18	58,40	13450	0,7079	15,28	131,90	0,00000193	13036	580,80	4821	16453	615	621	621	619	4523	14485
8B	280,00	117,02	56,01	12950	0,7057	15,05	127,00	0,00000171	13709	539,00	5195	19045	594	596	597	596	4701	15594
9A	240,00	115,45	57,91	10100	0,6295	-	-	-	-	446,80	5372	18162	476	468	479	474	5060	16115
9B	280,00	117,71	56,44	13012	0,6994	15,51	127,60	0,00000176	14208	560,50	4996	17454	597	598	604	600	4669	15249
10A	280,00	117,16	58,02	11910	0,6258	16,99	116,80	0,00000191	14438	534,70	5237	17160	572	573	577	574	4878	14891
10B	280,00	113,97	57,28	11982	0,6555	17,63	117,50	0,00000179	16703	510,80	5482	19696	532	532	532	532	5263	18157
11A1	280,00	106,98	51,57	10289	0,6661	15,19	100,90	0,00000122	15546	526,30	5320	18852	569	565	571	568	4927	16167
11A2	280,00	107,61	44,33	8209	0,6145	12,44	80,50	0,00000078	13017	568,30	4927	14918	596	592	589	592	4727	13732
11B	280,00	115,21	57,75	12226	0,6563	18,08	119,90	0,00000185	17305	485,60	5766	21820	526	527	527	527	5316	18550
12A	280,00	111,44	58,47	10605	0,5813	17,78	104,00	0,00000186	14462	533,10	5252	16036	565	565	566	565	4953	14259
12B	280,00	118,66	56,63	11676	0,6205	16,53	114,50	0,00000180	14222	525,80	5325	17597	570	572	572	571	4901	14904
13A	280,00	116,46	55,10	11115	0,6186	15,81	109,00	0,00000162	13699	548,80	5102	16102	560	561	563	561	4988	15391
13B1	280,00	116,84	58,29	12430	0,6519	16,82	121,90	0,00000193	14603	532,20	5261	18043	565	569	571	568	4927	15822
14A1	280,00	117,60	55,45	11941	0,6540	15,35	117,10	0,00000167	13482	552,40	5069	16802	602	602	603	602	4649	14132
14B1	280,00	115,69	57,85	11890	0,6345	18,17	116,60	0,00000187	16836	513,20	5456	18887	533	533	535	534	5247	17466
15A	280,00	116,31	55,04	10544	0,5882	16,57	103,40	0,00000162	14343	541,60	5170	15722	566	567	569	567	4935	14328
15B	280,00	114,56	59,51	12104	0,6341	17,04	118,70	0,00000201	13987	552,40	5069	16292	582	584	585	584	4797	14593
16A1	280,00	112,31	57,43	11278	0,6245	17,10	110,60	0,00000177	14894	531,20	5271	17351	562	561	563	562	4982	15501
16A2	280,00	112,13	48,32	9850	0,6493	14,54	96,60	0,00000105	15817	518,40	5401	18943	588	589	588	588	4759	14707
16B	280,00	115,08	57,93	11778	0,6310	17,96	115,50	0,00000186	16318	517,40	5412	18479	553	556	559	556	5036	16002
17A1	280,00	118,33	59,08	12879	0,6580	16,37	126,30	0,00000203	13591	560,10	4999	16443	599	604	604	602	4649	14218
17A2	280,00	117,43	54,59	11492	0,6402	16,46	112,70	0,00000159	15656	532,20	5261	17721	551	555	557	554	5051	16334
17B1	280,00	115,36	58,06	11788	0,6286	18,10	115,60	0,00000188	16437	503,50	5561	19440	602	605	605	604	4636	13509
17B2	280,00	116,85	58,53	12502	0,6528	16,07	122,60	0,00000195	13238	555,10	5044	16610	541	541	541	541	5176	17487
18A1	240,00	104,87	58,26	9420	0,6424	-	-	-	-	440,90	5443	19036	464	466	467	466	5154	17065
18A2	280,00	116,77	54,55	11105	0,6226	16,77	108,90	0,00000158	15827	521,60	5368	17940	546	547	551	548	5109	16253
18B	280,00	115,53	57,91	11482	0,6129	17,97	112,60	0,00000187	15876	520,80	5376	17716	543	545	547	545	5138	16178
19A1	280,00	115,10	54,76	10442	0,5917	16,42	102,40	0,00000157	14312	526,90	5314	16709	546	542	543	544	5150	15694
19A2	280,00	115,97	47,49	9330	0,6050	14,83	91,50	0,00000104	15870	514,80	5439	17898	549	551	551	550	5088	15661
19B1	280,00	116,07	58,00	11329	0,6010	18,10	111,10	0,00000189	15744	500,60	5593	18802	540	541	544	542	5169	16059
20A1	280,00	116,77	54,99	11064	0,6154	16,25	108,50	0,00000162	14456	540,30	5182	16526	580	579	585	581	4817	14275

Viga	Comprim. (cm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	massa (g)	Dens. (g/cm³)	Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
						Freq (Hz)	Peso (N)	l m ⁷	Ed2 (MPa)	t (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
20A2	280,00	116,98	48,60	9932	0,6240	14,51	97,40	0,00000112	14964	519,00	5395	18161	539	540	535	538	5204	16901
20B	280,00	116,83	58,29	11533	0,6049	18,05	113,10	0,00000193	15605	530,50	5278	16850	542	544	540	542	5166	16143
21A	280,00	110,47	53,86	11604	0,6966	15,30	113,80	0,00000144	15125	559,20	5007	17465	587	589	590	589	4757	15761
21B	280,00	114,12	57,23	13318	0,7282	15,97	130,60	0,00000178	15253	556,30	5033	18448	594	595	594	594	4711	16162
22A	280,00	113,60	53,85	11574	0,6757	16,12	113,50	0,00000148	16289	509,30	5498	20423	548	550	552	550	5091	17512
22B	280,00	99,45	57,21	11676	0,7329	16,80	114,50	0,00000155	17005	534,60	5238	20106	561	567	567	565	4956	18000
23A	280,00	114,07	57,58	13236	0,7198	15,22	129,80	0,00000181	13531	583,60	4798	16568	623	623	625	624	4490	14508
23B	280,00	115,90	58,97	13348	0,6975	15,44	130,90	0,00000198	12864	576,40	4858	16460	606	606	609	607	4613	14842
24A	280,00	105,01	53,17	11615	0,7430	15,84	113,90	0,00000132	17742	502,90	5568	23032	549	551	552	551	5085	19209
24B	280,00	105,02	54,25	11258	0,7056	16,28	110,40	0,00000140	17093	522,20	5362	20287	554	557	557	556	5036	17896
25A	280,00	114,38	54,64	11339	0,6480	16,11	111,20	0,00000155	15157	508,70	5504	19634	556	560	561	559	5009	16259
25B	280,00	83,03	55,52	9698	0,7513	16,04	95,10	0,00000118	16869	532,70	5256	20756	567	570	573	570	4912	18129
26A	280,00	105,83	54,65	11339	0,7002	15,68	111,20	0,00000144	15504	521,40	5370	20192	561	559	559	560	5003	17525
26B	280,00	112,15	55,32	12910	0,7432	15,32	126,60	0,00000158	15333	558,60	5013	18672	590	596	596	594	4714	16513
27A	280,00	114,95	53,39	11737	0,6831	16,04	115,10	0,00000146	16588	522,50	5359	19616	553	554	556	554	5051	17427
27B	240,00	98,07	54,14	8840	0,6937	-	-	-	-	427,90	5609	21824	460	462	466	463	5187	18667
28A	280,00	116,99	59,46	13807	0,7089	15,24	135,40	0,00000205	12530	590,70	4740	15928	622	628	626	625	4478	14213
28B	280,00	116,33	54,83	13001	0,7279	15,10	127,50	0,00000160	14850	558,30	5015	18309	591	591	597	593	4722	16229
29A	280,00	116,01	54,31	12624	0,7156	14,95	123,80	0,00000155	14590	557,50	5022	18051	571	571	571	571	4904	17208
29B	280,00	114,50	51,97	11900	0,7142	15,16	116,70	0,00000134	16347	524,50	5338	20353	569	570	577	572	4895	17113
31A1	280,00	95,02	54,30	8821	0,6106	15,40	86,50	0,00000127	13214	539,10	5194	16471	574	579	580	578	4847	14345
31B	240,00	75,43	55,34	6020	0,6009	-	-	-	-	427,50	5614	18938	445	447	445	446	5385	17425
32A	280,00	99,46	54,85	9371	0,6134	15,61	91,90	0,00000137	13365	530,20	5281	17108	559	564	566	563	4973	15173
32B	280,00	113,56	54,47	10707	0,6182	16,87	105,00	0,00000153	15952	493,50	5674	19900	523	523	523	523	5354	17719
33A	240,00	93,18	57,12	8480	0,6639	-	-	-	-	454,00	5286	18552	480	481	485	482	4979	16459
33B	240,00	107,02	54,39	8800	0,6299	-	-	-	-	441,50	5436	18614	460	460	461	460	5214	17122
34A	280,00	104,18	55,12	10503	0,6533	14,88	103,00	0,00000145	12810	556,80	5029	16521	600	602	603	602	4654	14149
34B	280,00	109,31	57,28	11135	0,6352	17,48	109,20	0,00000171	15913	503,00	5567	19682	539	539	540	539	5192	17120
35A1	280,00	102,80	53,80	10717	0,6920	14,37	105,10	0,00000133	13281	563,50	4969	17087	598	602	603	601	4659	15021
35A2	280,00	106,59	50,19	10309	0,6882	13,95	101,10	0,00000112	14301	546,60	5123	18059	581	584	587	584	4795	15820
35B	280,00	112,56	57,20	12114	0,6720	15,39	118,80	0,00000176	13089	559,10	5008	16855	592	599	593	595	4709	14899
36A	240,00	94,78	53,78	7600	0,6212	-	-	-	-	443,80	5408	18168	463	466	467	465	5158	16526
36B	280,00	79,53	54,03	7434	0,6178	17,14	72,90	0,00000105	16723	494,00	5668	19847	526	526	526	526	5323	17506
37A	280,00	91,23	55,60	9800	0,6900	14,72	96,10	0,00000131	13013	564,70	4958	16965	594	597	597	596	4698	15230
37B	240,00	81,15	50,97	6060	0,6105	-	-	-	-	424,20	5658	19543	450	454	454	453	5302	17162
38A	280,00	98,60	53,74	10330	0,6962	13,96	101,30	0,00000128	12636	566,60	4942	17001	612	614	616	614	4560	14478
38B	280,00	89,58	54,00	8984	0,6633	15,22	88,10	0,00000118	14175	534,40	5240	18209	561	566	568	565	4956	16290
39A	280,00	95,62	57,62	9789	0,6346	17,06	96,00	0,00000152	14968	528,90	5294	17786	561	565	569	565	4956	15586
39B	280,00	82,03	54,79	7729	0,6142	16,77	75,80	0,00000112	15481	514,10	5446	18220	540	544	544	543	5160	16353
40A	280,00	90,99	51,52	8484	0,6464	14,47	83,20	0,00000104	13719	524,70	5336	18407	557	561	565	561	4991	16102
40B	280,00	81,70	58,79	9575	0,7120	16,47	93,90	0,00000138	15034	550,50	5086	18419	585	589	590	588	4762	16145
41A	280,00	117,24	58,58	13175	0,6852	15,24	129,20	0,00000196	12477	592,60	4725	15296	631	632	634	632	4428	13434

Viga	Comprim. (cm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	massa (g)	Dens. (g/cm³)	Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
						Freq (Hz)	Peso (N)	l (m)	Ed2 (MPa)	t (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
41B	280,00	101,88	58,61	12645	0,7563	15,74	124,00	0,00000171	14676	570,00	4912	18250	589	591	592	591	4740	16995
42A	280,00	104,52	54,39	10860	0,6823	15,51	106,50	0,00000140	14928	556,20	5034	17291	584	586	588	586	4778	15577
42B	280,00	115,03	57,62	12696	0,6841	16,49	124,50	0,00000183	15073	550,00	5091	17730	584	587	588	586	4775	15600
43A	280,00	112,98	58,31	12940	0,7015	13,84	126,90	0,00000187	10630	633,00	4423	13725	664	668	667	666	4202	12386
43B	280,00	113,47	53,94	11992	0,6997	15,27	117,60	0,00000148	15086	544,90	5139	18476	574	578	578	577	4855	16497
44A	280,00	113,73	54,17	11298	0,6549	15,03	110,80	0,00000151	13562	559,30	5006	16414	600	598	601	600	4669	14279
44B	280,00	113,49	55,68	13868	0,7839	13,80	136,00	0,00000163	12955	617,20	4537	16133	635	637	642	638	4389	15098
45A	280,00	112,56	53,70	11625	0,6868	15,02	114,00	0,00000145	14456	555,80	5038	17432	592	594	596	594	4714	15262
45B	280,00	105,77	56,59	12971	0,7740	13,86	127,20	0,00000160	12490	583,30	4800	17834	629	630	634	631	4437	15240
46A	280,00	115,27	58,29	13369	0,7106	15,34	131,10	0,00000190	13241	588,80	4755	16070	614	613	614	614	4563	14794
46B	280,00	106,15	56,43	12339	0,7357	15,87	121,00	0,00000159	15656	552,10	5072	18923	582	582	586	583	4800	16951
47A1	280,00	107,02	57,83	12461	0,7191	15,01	122,20	0,00000172	13033	593,80	4715	15989	619	621	623	621	4509	14619
47A2	280,00	107,49	44,73	10044	0,7460	12,63	98,50	0,00000080	15999	558,30	5015	18765	573	577	578	576	4861	17629
47B	240,00	112,89	57,24	11100	0,7157	-	-	-	-	462,00	5195	19315	487	488	492	489	4908	17241
48A1	280,00	114,31	53,99	11870	0,6869	15,55	116,40	0,00000150	15329	541,40	5172	18373	582	582	585	583	4803	15844
48A2	280,00	116,83	48,82	11584	0,7253	13,10	113,60	0,00000113	14050	574,80	4871	17212	610	610	613	611	4583	15232
48B	240,00	114,39	57,19	10780	0,6866	-	-	-	-	451,10	5320	19434	482	483	486	484	4962	16905
49A1	280,00	116,50	57,87	13369	0,7081	14,87	131,10	0,00000188	12577	585,50	4782	16195	626	627	629	627	4463	14107
49A2	280,00	117,49	48,29	12053	0,7587	13,40	118,20	0,00000110	15716	559,30	5006	19015	597	601	601	600	4669	16541
49B	280,00	116,42	54,43	12940	0,7293	15,00	126,90	0,00000156	14903	575,00	4870	17295	618	619	622	620	4519	14891
50A1	280,00	111,28	55,28	12910	0,7494	13,98	126,60	0,00000157	12893	586,50	4774	17081	616	616	620	617	4536	15417
50A2	280,00	112,60	52,37	12390	0,7504	13,74	121,50	0,00000135	13898	577,10	4852	17665	619	620	623	621	4511	15272
50B	280,00	116,00	58,33	13307	0,7024	15,83	130,50	0,00000192	13920	576,20	4859	16587	599	601	603	601	4659	15247
51A1	280,00	115,00	54,16	11268	0,6461	16,01	110,50	0,00000152	15186	520,10	5384	18725	562	566	570	566	4947	15811
51A2	280,00	113,99	55,20	11982	0,6801	15,13	117,50	0,00000160	13743	545,40	5134	17924	582	583	579	581	4817	15776
51B	280,00	109,55	56,71	11666	0,6706	17,02	114,40	0,00000167	16250	544,90	5139	17707	565	574	574	571	4904	16125
52A	240,00	111,14	55,75	9800	0,6590	-	-	-	-	451,40	5317	18629	483	483	482	483	4972	16294
52B	240,00	90,89	54,29	7700	0,6501	-	-	-	-	459,80	5220	17713	480	481	486	482	4976	16096
53A1	280,00	118,39	55,71	13460	0,7288	14,44	132,00	0,00000171	13172	580,50	4823	16957	630	631	633	631	4435	14336
53A2	280,00	117,74	58,83	13460	0,6941	14,44	132,00	0,00000200	11251	583,90	4795	15961	620	624	628	624	4487	13975
53B1	240,00	113,88	54,30	10260	0,6913	-	-	-	-	440,60	5447	20511	463	466	466	465	5161	18415
53B2	280,00	117,05	48,31	10656	0,6731	14,72	104,50	0,00000110	16814	511,10	5478	20201	545	549	551	548	5106	17551
54A	280,00	117,15	58,57	13634	0,7097	15,00	133,70	0,00000196	12524	594,00	4714	15769	611	613	614	613	4570	14823
54B	280,00	101,87	58,28	11258	0,6773	16,62	110,40	0,00000168	14819	560,60	4995	16896	576	578	579	578	4847	15912
55A	280,00	114,38	56,60	11727	0,6470	16,64	115,00	0,00000173	15045	523,20	5352	18530	567	569	564	567	4941	15796
55B	280,00	117,32	58,51	14225	0,7401	15,84	139,50	0,00000196	14593	575,60	4864	17514	593	595	598	595	4703	16372
56A	280,00	116,80	58,42	13307	0,6965	15,85	130,50	0,00000194	13791	567,10	4937	16979	602	604	608	605	4631	14935
56B	280,00	116,00	56,99	12318	0,6655	17,16	120,80	0,00000179	16231	523,50	5349	19037	565	564	570	566	4944	16266
57A	280,00	108,44	51,47	10574	0,6766	14,14	103,70	0,00000123	13736	570,50	4908	16298	590	596	597	594	4711	15017
57B	280,00	115,23	54,33	12012	0,6853	15,47	117,80	0,00000154	14947	536,50	5219	18665	578	583	583	581	4817	15897
58A	280,00	114,32	54,11	11156	0,6440	15,79	109,40	0,00000151	14752	547,70	5112	16832	578	581	582	580	4825	14993
58B	280,00	113,59	59,12	14113	0,7505	15,15	138,40	0,00000196	13258	596,50	4694	16537	629	633	635	632	4428	14716

Viga	Comprim. (cm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	massa (g)	Dens. (g/cm³)	Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
						Freq (Hz)	Peso (N)	l m ⁷	Ed2 (MPa)	t (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
59A	280,00	115,97	57,12	13430	0,7240	15,83	131,70	0,00000180	14958	567,10	4937	17650	607	607	607	607	4613	15406
59B	280,00	106,62	56,45	11798	0,7000	16,37	115,70	0,00000160	15835	564,80	4958	17204	589	594	594	592	4727	15642
60A	280,00	115,97	53,85	11757	0,6723	15,68	115,30	0,00000151	15334	545,20	5136	17734	561	562	563	562	4982	16689
60B	280,00	116,08	58,05	12247	0,6491	17,46	120,10	0,00000189	15799	499,40	5607	20405	556	551	556	554	5051	16561
61A	240,00	113,32	52,85	9780	0,6804	-	-	-	-	447,60	5362	19563	481	482	482	482	4983	16894
61B	280,00	90,17	53,61	9738	0,7195	15,18	95,50	0,00000116	15519	534,60	5238	19737	541	542	543	542	5166	19202
62A	280,00	115,61	58,68	13379	0,7043	16,43	131,20	0,00000195	14851	525,70	5326	19979	576	580	580	579	4839	16489
62B	240,00	79,69	57,23	7980	0,7291	-	-	-	-	448,60	5350	20867	471	470	476	472	5081	18823
63A	280,00	115,20	57,67	12532	0,6737	16,67	122,90	0,00000184	15141	538,00	5204	18247	584	586	590	587	4773	15345
63B	280,00	96,71	55,09	11390	0,7636	14,35	111,70	0,00000135	13939	573,30	4884	18214	604	605	607	605	4626	16337
64A	280,00	113,45	53,46	11717	0,6900	15,90	114,90	0,00000144	16419	528,40	5299	19374	562	564	564	563	4970	17045
64B	240,00	94,69	54,10	8900	0,7239	-	-	-	-	442,90	5419	21258	478	482	482	481	4993	18048
65A	280,00	116,43	54,15	11197	0,6343	16,08	109,80	0,00000154	15049	533,90	5244	17445	571	569	571	570	4909	15287
65B	280,00	100,14	58,20	10289	0,6305	17,73	100,90	0,00000165	15741	505,40	5540	19351	529	534	534	532	5260	17443
66A	280,00	115,97	57,99	14072	0,7474	14,55	138,00	0,00000188	12659	606,30	4618	15939	644	646	648	646	4334	14040
66B	280,00	97,09	54,25	11339	0,7689	14,68	111,20	0,00000129	15149	566,50	4943	18784	606	611	612	610	4593	16219
67A	280,00	116,13	56,71	13328	0,7228	15,86	130,70	0,00000176	15210	571,60	4899	17344	600	603	605	603	4646	15602
67B	280,00	116,25	54,66	13236	0,7440	15,24	129,80	0,00000158	15558	523,30	5351	21299	571	572	573	572	4895	17827
68A	280,00	114,82	54,73	12716	0,7227	14,86	124,70	0,00000157	14332	566,10	4946	17680	613	609	614	612	4575	15127
68B	240,00	88,46	57,81	8840	0,7202	-	-	-	-	448,90	5346	20587	478	478	482	479	5007	18056
69A	280,00	114,15	56,47	12400	0,6870	16,70	121,60	0,00000171	16164	537,90	5205	18616	572	573	575	573	4884	16386
69B	280,00	107,12	53,92	11309	0,6992	15,90	110,90	0,00000140	16357	533,40	5249	19268	561	561	560	561	4994	17439
70A	280,00	110,16	56,49	11482	0,6589	17,18	112,60	0,00000166	16394	523,10	5353	18879	556	558	559	558	5021	16611
70B	280,00	106,16	55,08	11339	0,6925	15,70	111,20	0,00000148	15135	548,30	5107	18060	551	552	558	554	5057	17712
71A	280,00	106,67	55,64	12084	0,7271	12,90	118,50	0,00000153	10513	638,50	4385	13982	686	688	689	688	4072	12054
72A	280,00	116,02	58,09	11513	0,6101	15,97	112,90	0,00000190	12403	551,80	5074	15708	579	581	584	581	4817	14153
72B	280,00	113,91	59,06	12920	0,6859	15,24	126,70	0,00000196	12286	597,70	4685	15052	634	635	638	636	4405	13307
73A	280,00	115,32	57,81	11655	0,6244	15,84	114,30	0,00000186	12612	551,70	5075	16084	602	602	608	604	4636	13419
73B	280,00	110,66	56,79	11105	0,6311	16,11	108,90	0,00000169	13665	536,10	5223	17216	570	572	572	571	4901	15158
74A	280,00	117,60	59,53	11839	0,6040	15,62	116,10	0,00000207	11188	573,30	4884	14407	616	612	613	614	4563	12574
74B	280,00	115,76	57,48	11370	0,6103	16,65	111,50	0,00000183	13778	532,10	5262	16900	570	577	572	573	4887	14573
75A	280,00	107,61	54,90	10605	0,6411	14,91	104,00	0,00000148	12721	572,90	4887	15314	608	610	614	611	4585	13478
75B	280,00	106,95	50,53	9555	0,6314	14,69	93,70	0,00000115	14354	535,00	5234	17294	567	570	573	570	4912	15235
76A	280,00	118,32	58,27	12461	0,6454	15,12	122,20	0,00000195	11690	607,50	4609	13711	643	643	646	644	4348	12201
76B	280,00	116,71	57,60	12053	0,6403	15,81	118,20	0,00000186	12978	542,10	5165	17083	594	600	601	598	4680	14023
77A	240,00	115,01	57,67	9560	0,6006	-	-	-	-	455,50	5269	16674	485	488	488	487	4928	14587
77B	280,00	115,00	58,18	12461	0,6652	16,11	122,20	0,00000189	13723	550,70	5084	17197	586	586	589	587	4770	15136
78A1	280,00	115,84	56,13	11033	0,6060	15,01	108,20	0,00000171	11657	579,50	4832	14148	616	613	611	613	4565	12630
78A2	280,00	108,40	46,04	8719	0,6239	13,19	85,50	0,00000088	13774	544,80	5140	16480	588	589	591	589	4751	14083
78B	240,00	114,33	58,90	10080	0,6237	-	-	-	-	465,10	5160	16608	491	491	491	491	4888	14902
79A	280,00	118,18	59,03	12950	0,6630	14,53	127,00	0,00000203	10807	611,10	4582	13919	651	655	657	654	4279	12141
79B	280,00	116,75	58,52	12196	0,6376	16,21	119,60	0,00000195	13162	546,90	5120	16712	600	603	594	599	4674	13931

Viga						Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
	Comprim. (cm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	massa (g)	Dens. (g/cm³)	Freq (Hz)	Peso (N)	l m ⁷	Ed2 (MPa)	t (µs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (µs)	t2 (µs)	t3 (µs)	t médio (µs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
80A1	280,00	95,94	54,50	11084	0,7572	14,07	108,70	0,00000129	13578	555,00	5045	19272	587	587	590	588	4762	17170
80A2	280,00	115,89	58,44	11706	0,6173	16,10	114,80	0,00000193	12605	586,60	4773	14065	617	619	620	619	4526	12645
80B1	280,00	117,95	56,33	12838	0,6901	14,66	125,90	0,00000176	12575	570,40	4909	16630	623	623	627	624	4485	13881
80B2	280,00	82,81	58,30	10911	0,8071	15,01	107,00	0,00000137	14391	584,10	4794	18547	611	613	613	612	4573	16876
81A	240,00	113,96	56,31	10760	0,6986	-	-	-	-	441,00	5442	20690	471	471	474	472	5085	18062
81B	280,00	104,78	54,19	11747	0,7389	16,60	115,20	0,00000139	18656	505,00	5545	22716	548	552	556	552	5072	19012
82A	280,00	114,47	58,21	13216	0,7083	15,19	129,60	0,00000188	12974	573,00	4887	16913	607	608	605	607	4615	15088
82B	280,00	116,25	57,78	13725	0,7298	15,77	134,60	0,00000187	14625	576,30	4859	17227	617	620	622	620	4519	14900
83A	280,00	110,34	53,55	12930	0,7816	13,84	126,80	0,00000141	14047	586,20	4777	17832	620	620	623	621	4509	15889
83B	280,00	113,71	52,59	11921	0,7119	16,47	116,90	0,00000138	18785	507,10	5522	21705	531	528	536	532	5266	19746
84A	280,00	111,19	57,00	12226	0,6890	16,37	119,90	0,00000172	15288	551,20	5080	17779	585	582	581	583	4805	15911
84B	280,00	105,20	56,11	12461	0,7539	16,81	122,20	0,00000155	18201	539,20	5193	20329	568	572	572	571	4907	18149
85A	280,00	116,11	53,94	13399	0,7641	13,83	131,40	0,00000152	13513	609,50	4594	16125	635	637	640	637	4393	14748
85B	280,00	105,57	53,95	12645	0,7928	15,32	124,00	0,00000138	17197	561,60	4986	19708	572	573	576	574	4881	18887
86A	280,00	111,32	53,90	13256	0,7890	14,56	130,00	0,00000145	15490	590,10	4745	17765	592	596	597	595	4706	17474
86B	280,00	114,77	53,74	12339	0,7145	16,31	121,00	0,00000148	17708	515,80	5428	21056	548	548	548	548	5109	18654
87A	280,00	97,72	56,36	11992	0,7777	14,73	117,60	0,00000146	14293	588,50	4758	17605	627	628	630	628	4456	15444
87B	280,00	100,54	56,82	11900	0,7440	17,76	116,70	0,00000154	19554	504,90	5546	22880	537	539	542	539	5192	20052
88A	280,00	109,35	53,44	12043	0,7360	15,59	118,10	0,00000139	16851	519,20	5393	21406	566	570	571	569	4921	17823
88B	280,00	115,23	54,84	13307	0,7521	15,32	130,50	0,00000158	15788	544,50	5142	19887	568	574	576	573	4889	17979
89A	280,00	111,27	52,93	12675	0,7686	15,78	124,30	0,00000137	18379	518,60	5399	22406	562	563	565	563	4970	18989
89B	280,00	111,50	54,08	12869	0,7622	16,75	126,20	0,00000147	19667	500,40	5596	23863	551	550	550	550	5088	19729
90A1	280,00	116,41	53,26	13797	0,7947	14,81	135,30	0,00000147	16528	552,90	5064	20380	582	583	586	584	4797	18288
90A2	240,00	113,47	53,74	11640	0,7953	-	-	-	-	443,70	5409	23268	458	459	462	460	5221	21680
90B	280,00	115,72	53,31	12502	0,7238	16,75	122,60	0,00000146	19226	479,20	5843	24713	528	530	538	532	5263	20051
91A	280,00	103,11	58,54	10422	0,6166	17,12	102,20	0,00000172	14190	541,10	5175	16512	571	573	575	573	4887	14724
91B	280,00	115,91	57,28	12308	0,6621	18,34	120,70	0,00000181	18263	500,10	5599	20756	552	552	554	553	5066	16995
92A	280,00	118,08	59,29	14449	0,7371	14,81	141,70	0,00000205	12373	526,20	5321	20872	663	666	667	665	4208	13055
92B	280,00	106,10	57,23	11808	0,6945	17,16	115,80	0,00000166	16795	530,30	5280	19361	573	577	579	576	4858	16392
93A	280,00	116,68	55,06	11197	0,6224	16,11	109,80	0,00000162	14332	558,80	5011	15626	573	574	579	575	4867	14741
93B	280,00	117,60	58,73	13328	0,6892	16,77	130,70	0,00000199	15115	545,60	5132	18150	580	583	584	582	4808	15933
94A1	280,00	112,46	58,28	12787	0,6968	15,48	125,40	0,00000186	13223	570,40	4909	16789	579	582	585	582	4811	16127
94B	280,00	116,74	54,92	12022	0,6697	16,51	117,90	0,00000161	16285	521,50	5369	19307	567	564	565	565	4953	16429
95A	240,00	115,33	57,53	10200	0,6405	-	-	-	-	477,80	5023	16161	482	480	483	482	4983	15903
95B	240,00	114,34	54,05	10200	0,6877	-	-	-	-	443,00	5418	20185	468	471	474	471	5096	17856
96A	240,00	106,48	55,18	8600	0,6098	-	-	-	-	449,20	5343	17408	480	481	481	481	4993	15204
96B	280,00	115,80	54,33	11880	0,6744	16,77	116,50	0,00000155	17285	503,20	5564	20880	544	544	546	545	5141	17822
97A	280,00	116,52	55,84	11645	0,6392	14,90	114,20	0,00000169	12246	587,60	4765	14515	614	619	619	617	4536	13150
97B	280,00	111,83	58,55	12349	0,6735	17,16	121,10	0,00000187	15562	523,10	5353	19298	565	568	570	568	4932	16387
98A	280,00	113,81	54,29	11207	0,6477	16,49	109,90	0,00000152	16074	510,20	5488	19508	545	549	549	548	5113	16930
98B	280,00	108,24	58,83	12502	0,7011	17,04	122,60	0,00000184	15822	545,40	5134	18479	571	571	576	573	4889	16761
99A	280,00	117,08	57,39	11686	0,6211	16,32	114,60	0,00000184	13512	575,10	4869	14723	605	607	611	608	4608	13187

Viga	Comprim. (cm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	massa (g)	Dens. (g/cm³)	Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
						Freq (Hz)	Peso (N)	l m ⁷	Ed2 (MPa)	t (µs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (µs)	t2 (µs)	t3 (µs)	t médio (µs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
99B	280,00	116,72	57,85	13216	0,6990	15,20	129,60	0,00000188	12980	573,10	4886	16685	600	599	601	600	4667	15222
100A	280,00	107,40	54,56	10738	0,6545	14,73	105,30	0,00000145	12835	579,10	4835	15301	598	596	602	599	4677	14317
100B	280,00	111,56	58,24	12441	0,6838	17,72	122,00	0,00000184	17030	523,70	5347	19547	555	554	561	557	5030	17301
101A1	280,00	118,31	55,93	13073	0,7056	14,53	128,20	0,00000172	12813	580,30	4825	16428	626	621	627	625	4482	14177
101A2	280,00	117,26	55,47	10269	0,5638	16,15	100,70	0,00000167	12858	508,30	5509	17109	552	555	556	554	5051	14385
101A3	280,00	82,54	51,33	11553	0,9740	14,71	113,30	0,00000093	21522	536,00	5224	26580	569	569	567	568	4927	23641
101A4	280,00	111,17	51,95	10605	0,6558	16,32	104,00	0,00000130	17409	496,10	5644	20890	512	511	511	511	5476	19664
101A5	280,00	106,17	51,20	10279	0,6753	15,60	100,80	0,00000119	16866	508,30	5509	20493	533	535	535	534	5240	18545
101B1	280,00	118,01	58,77	13348	0,6874	15,80	130,90	0,00000200	13368	536,90	5215	18696	580	581	585	582	4811	15910
101B2	240,00	113,18	58,10	9940	0,6299	-	-	-	-	424,00	5660	20181	438	442	443	441	5442	18655
101B3	280,00	114,90	57,70	11778	0,6345	18,05	115,50	0,00000184	16704	492,40	5686	20516	520	524	524	523	5357	18209
102A1	280,00	110,67	58,28	13093	0,7250	17,00	128,40	0,00000183	16592	518,40	5401	21149	565	565	561	564	4967	17889
102A2	280,00	110,91	58,56	12736	0,7004	16,55	124,90	0,00000186	15049	526,00	5323	19846	569	572	573	571	4901	16821
102A3	280,00	105,75	55,85	9963	0,6024	15,74	97,70	0,00000154	12870	526,60	5317	17031	569	565	570	568	4930	14638
102A4	280,00	114,07	55,63	11829	0,6657	14,26	116,00	0,00000164	11766	576,20	4859	15720	614	615	618	616	4548	13769
102A5	280,00	96,64	54,55	9769	0,6618	16,38	95,80	0,00000131	16051	515,10	5436	19555	535	533	536	535	5237	18150
102A6	280,00	106,52	55,59	11870	0,7158	15,12	116,40	0,00000153	14245	542,80	5158	19048	582	584	587	584	4792	16437
102A7	280,00	113,69	58,92	13736	0,7323	17,02	134,70	0,00000194	16440	534,60	5238	20909	570	571	573	571	4901	17590
102B1	280,00	113,76	57,83	11839	0,6428	17,81	116,10	0,00000183	16403	508,30	5509	19504	518	519	517	518	5405	18780
102B2	280,00	116,61	52,67	12043	0,7203	14,89	118,10	0,00000142	15054	542,90	5157	18627	579	581	582	581	4822	16282
102B3	280,00	115,42	58,52	13440	0,7107	15,54	131,80	0,00000193	13482	570,50	4908	17119	597	600	601	599	4672	15511
102B4	280,00	116,41	57,93	10768	0,5703	16,92	105,60	0,00000189	13088	541,00	5176	15276	565	567	569	567	4938	13907
102B5	240,00	105,14	54,15	9060	0,6630	-	-	-	-	428,10	5606	20839	443	449	449	447	5369	19114
102B6	280,00	105,66	58,41	11248	0,6508	18,08	110,30	0,00000175	16774	501,50	5583	20289	529	529	533	530	5280	18142
103A1	280,00	116,33	53,64	12461	0,7131	15,85	122,20	0,00000150	16749	529,30	5290	19957	568	569	570	569	4921	17269
103A2	280,00	117,28	55,07	11166	0,6174	15,62	109,50	0,00000163	13361	528,90	5294	17304	565	571	574	570	4912	14899
103A3	240,00	114,32	53,82	9840	0,6664	-	-	-	-	433,30	5539	20445	461	460	457	459	5225	18193
103A4	280,00	112,10	58,36	12940	0,7064	17,08	126,90	0,00000186	16278	521,90	5365	20333	550	551	554	552	5076	18198
103B1	280,00	117,69	54,56	12645	0,7033	15,41	124,00	0,00000159	15096	551,80	5074	18110	576	582	583	580	4825	16373
103B2	240,00	115,75	47,22	8160	0,6221	-	-	-	-	449,50	5339	17735	471	473	474	473	5078	16039
103B3	280,00	115,42	54,20	12237	0,6986	17,12	120,00	0,00000153	18754	500,20	5598	21892	539	538	538	538	5201	18900
104A1	280,00	116,84	54,99	13450	0,7476	15,64	131,90	0,00000162	16267	535,20	5232	20462	562	566	566	565	4959	18382
104A2	280,00	116,50	55,39	11390	0,6304	15,80	111,70	0,00000165	13799	527,60	5307	17755	571	571	573	572	4898	15123
104A3	280,00	112,81	54,06	11564	0,6772	17,04	113,40	0,00000149	18097	500,70	5592	21176	538	540	541	540	5188	18228
104A4	280,00	112,95	55,79	12053	0,6831	16,71	118,20	0,00000163	16484	511,20	5477	20494	528	524	530	527	5310	19259
104A5	280,00	105,96	53,04	11003	0,6992	16,86	107,90	0,00000132	19009	505,20	5542	21478	522	526	527	525	5333	19889
104B1	280,00	117,88	58,54	13430	0,6950	16,49	131,70	0,00000197	14835	539,30	5192	18735	575	576	580	577	4853	16367
104B2	240,00	114,89	56,69	10180	0,6512	-	-	-	-	433,10	5541	19997	460	464	466	463	5180	17472
104B3	240,00	112,63	57,61	10180	0,6538	-	-	-	-	413,50	5804	22024	441	441	444	442	5430	19275
104B4	280,00	113,66	50,77	10870	0,6728	16,00	106,60	0,00000124	17980	503,50	5561	20808	531	532	533	532	5263	18638
105A1	280,00	116,13	51,82	11319	0,6718	15,38	111,00	0,00000135	15922	508,10	5511	20401	529	531	528	529	5290	18797
105A2	280,00	110,80	53,12	10768	0,6534	15,79	105,60	0,00000138	15529	517,60	5410	19120	551	553	556	553	5060	16730

Viga	Comprim. (cm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	massa (g)	Dens. (g/cm³)	Vibração Transversal				Ultra-som			Ondas de Tensão					
						Freq (Hz)	Peso (N)	l (m ²)	Ed2 (MPa)	t (μs)	velocidade (m/s)	C _{LL} (MPa)	t1 (μs)	t2 (μs)	t3 (μs)	t médio (μs)	velocidade (m/s)	Ed1 (MPa)
105A3	280,00	92,18	51,67	9116	0,6836	15,52	89,40	0,00000106	16592	508,00	5512	20768	540	543	544	542	5163	18222
105A4	280,00	115,37	54,55	11788	0,6690	16,40	115,60	0,00000156	16268	503,70	5559	20672	544	546	544	545	5141	17679
105A5	280,00	113,48	57,13	12379	0,6819	18,03	121,40	0,00000176	18270	508,50	5506	20677	522	524	526	524	5344	19471
105A6	240,00	80,72	56,93	7640	0,6928	-	-	-	-	416,90	5757	22958	441	441	446	443	5422	20363
105B1	280,00	107,30	54,87	11849	0,7188	16,31	116,20	0,00000148	17085	521,20	5372	20744	547	552	552	550	5088	18606
105B2	280,00	106,36	54,59	10952	0,6737	17,43	107,40	0,00000144	18478	494,70	5660	21581	519	523	526	523	5357	19334
105B3	280,00	106,32	54,34	10299	0,6367	15,77	101,00	0,00000142	14425	508,00	5512	19342	558	560	560	559	5006	15955
105B4	280,00	105,18	54,21	11054	0,6924	17,04	108,40	0,00000140	18403	500,70	5592	21651	529	531	531	530	5280	19299
106A1	280,00	105,17	53,80	11074	0,6990	17,40	108,60	0,00000136	19667	500,20	5598	21903	521	523	526	523	5350	20009
106A2	280,00	114,19	54,50	11003	0,6314	16,72	107,90	0,00000154	15988	520,60	5378	18265	554	557	550	554	5057	16149
106A3	280,00	110,39	51,49	11421	0,7176	16,71	112,00	0,00000126	20332	501,40	5584	22378	528	529	530	529	5293	20104
106B1	280,00	113,79	53,57	12135	0,7109	17,23	119,00	0,00000146	19782	495,40	5652	22710	522	523	528	524	5340	20272
106B2	280,00	116,72	58,95	13542	0,7029	16,29	132,80	0,00000199	14442	545,10	5137	18547	576	581	586	581	4819	16326
106B3	280,00	115,43	57,70	13124	0,7038	17,75	128,70	0,00000185	17919	513,10	5457	20957	552	553	554	553	5063	18042
107A1	280,00	115,95	59,01	13950	0,7282	17,25	136,80	0,00000199	16739	533,90	5244	20027	564	568	570	567	4935	17736
107A2	280,00	117,16	57,32	12563	0,6681	16,05	123,20	0,00000140	14090	556,90	5028	16889	577	579	583	580	4830	15688
107A3	280,00	114,50	54,44	12196	0,6987	16,79	119,60	0,00000154	17880	517,10	5415	20487	548	552	552	551	5085	18066
107A4	280,00	115,87	58,49	13746	0,7244	17,14	134,80	0,00000193	16738	526,40	5319	20497	561	563	564	563	4976	17940
107B1	280,00	115,72	55,79	11706	0,6476	16,34	114,80	0,00000167	14948	536,60	5218	17634	553	555	557	555	5045	16484
107B2	280,00	113,08	54,91	12114	0,6968	16,51	118,80	0,00000156	16944	508,00	5512	21168	541	542	543	542	5166	18595
107B3	280,00	116,06	53,92	11788	0,6727	17,15	115,60	0,00000152	18308	503,30	5563	20821	534	535	540	536	5221	18335
107B4	280,00	108,13	50,98	10595	0,6865	16,07	103,90	0,00000119	18353	507,40	5518	20904	541	542	542	542	5169	18343
108A1	280,00	116,26	58,37	13093	0,6891	17,07	128,40	0,00000193	15854	522,80	5356	19766	553	559	556	556	5036	17476
108A2	280,00	116,12	57,64	12410	0,6621	16,28	121,70	0,00000185	14208	567,80	4931	16102	594	592	596	594	4714	14713
108A3	280,00	114,92	56,22	12614	0,6973	17,37	123,70	0,00000170	17910	516,00	5426	20533	545	546	550	547	5119	18271
108A4	280,00	115,69	54,58	13185	0,7458	15,19	129,30	0,00000157	15542	534,40	5240	20474	568	570	571	570	4915	18017
108B1	280,00	113,93	57,03	12267	0,6743	18,22	120,30	0,00000176	18515	498,80	5613	21247	517	521	516	518	5405	19701
108B2	280,00	115,54	58,69	13083	0,6891	17,13	128,30	0,00000195	15795	515,30	5434	20346	551	550	553	551	5079	17774
108B3	240,00	113,02	56,81	10880	0,7060	-	-	-	-	419,00	5728	23164	442	444	446	444	5405	20629
109A1	280,00	117,36	57,88	11900	0,6257	16,95	116,70	0,00000190	14437	545,30	5135	16497	558	559	563	560	5000	15642
109A2	280,00	114,71	53,82	11788	0,6820	16,97	115,60	0,00000149	18242	502,60	5571	21166	523	525	529	526	5327	19349
109A3	280,00	116,25	42,84	10391	0,7452	13,95	101,90	0,00000076	21257	497,80	5625	23576	517	522	522	520	5381	21578
109B1	280,00	116,58	53,81	11625	0,6618	16,88	114,00	0,00000151	17521	506,10	5533	20257	538	540	541	540	5188	17816
109B2	280,00	116,07	57,68	13042	0,6957	17,71	127,90	0,00000186	17643	502,60	5571	21593	540	546	539	542	5169	18590
110A1	280,00	111,89	57,70	12155	0,6724	16,45	119,20	0,00000179	14702	523,70	5347	19221	557	557	557	557	5027	16991
110A2	280,00	110,90	57,80	12451	0,6937	17,93	122,10	0,00000178	17958	510,30	5487	20885	529	530	531	530	5283	19361
110A3	240,00	113,65	54,53	10300	0,6925	-	-	-	-	423,80	5663	22209	444	445	446	445	5393	20143
110A4	280,00	114,90	55,22	12369	0,6962	17,01	121,30	0,00000161	17771	512,30	5466	20798	525	531	531	529	5293	19506
110B1	280,00	116,30	50,99	11788	0,7100	15,59	115,60	0,00000128	17858	506,50	5528	21698	532	534	535	534	5247	19545
110B2	240,00	120,14	54,38	9640	0,6148	-	-	-	-	437,70	5483	18485	471	475	475	474	5067	15784
110B3	280,00	114,38	50,54	11319	0,6993	16,38	111,00	0,00000123	19765	479,40	5841	23857	512	519	512	514	5444	20726
Mínimo	240,00	75,43	42,84	6020	0,5638	12,44	72,90	0,00000076	10513	413,50	4385	13711	438	441	443	441	4072	12054
Máximo	280,00	120,14	59,53	14449	0,9740	18,34	141,70	0,00000207	21522	638,50	5843	26580	686	688	689	688	5476	23641
Médio	275,27	110,73	55,51	11545	0,6819	15,92	116,13	0,00000160	15177	528,80	5225	18633	561	563	564	562	4913	16475
D. Padrão	12,94	8,49	2,81	1475	0,0492	1,15	11,98	0,00000027	1982	42,87	283	2127	46	46	46	46	270	1900
C. V. (%)	4,70	7,67	5,06	12,77	7,22	7,24	10,32	16,97	13,06	8,11	5,42	11,42	8,22	8,21	8,21	8,21	5,49	11,53

**ANEXO E – Ensaio destrutivo de flexão estática
(Vigas)
e de compressão paralela às fibras
(corpos-de-prova)
na umidade de equilíbrio ao ar**

ENSAIO DESTRUTIVOS - VIGAS E CORPOS-DE-PROVA NA UMIDADE DE EQUILIBIO AO AR											
Viga	Comprim. (cm)	Larg. Média (mm)	Espes. média (mm)	Flexão estática						Tipo Ruptura	Compressão f _{cd} (MPa)
				a ₁₅₀ (mm)	a ₇₅₀ (mm)	E _{II} (MPa)	Carga Rup (kgf)	f _{II} (MPa)			
1A	280,00	114,15	54,04	8,998	9,087	13587	3039	77,68	B	50,42	
1B	280,00	116,75	48,80	8,838	8,940	17862	2147	65,84	B	50,06	
2A	280,00	112,53	53,58	8,932	9,022	14145	2686	71,25	B	49,94	
2B	280,00	109,71	51,68	8,880	9,006	16455	2218	72,74	B	56,06	
3A	280,00	113,22	57,81	9,210	9,300	18740	1811	49,86	B	56,91	
3B	280,00	112,97	58,27	9,097	9,166	16769	2997	72,54	B	49,13	
4A	280,00	111,01	57,50	8,973	9,036	19615	3013	76,54	B	50,15	
4B	280,00	115,47	54,26	8,571	8,643	23522	2572	72,52	B	48,73	
5A	280,00	117,91	56,04	8,933	8,987	19596	2987	69,01	B	45,84	
5B	240,00	106,15	54,36	9,187	9,310	17693	2385	79,43	B	57,01	
6A	280,00	116,58	58,64	8,659	8,717	18038	3443	77,76	B	47,60	
6B	280,00	101,76	58,46	9,248	9,395	15625	2396	80,74	B	52,22	
7A1	280,00	117,05	58,83	9,266	9,341	19997	2287	57,88	B	53,98	
7B1	280,00	91,47	54,07	9,069	9,209	16777	1813	72,14	B	52,83	
8A	280,00	116,18	58,40	8,675	8,740	16326	2905	66,33	B	51,03	
8B	280,00	117,02	56,01	9,303	9,389	18334	2469	65,68	B	51,58	
9A	240,00	115,45	57,91	8,614	8,699	18682	2978	78,71	B	51,88	
9B	280,00	117,71	56,44	8,659	8,751	16706	2274	59,31	B	54,97	
10A	280,00	117,16	58,02	8,954	9,020	22978	2756	70,60	B	45,79	
10B	280,00	113,97	57,28	8,760	8,820	19105	2532	61,26	B	49,27	
11A1	280,00	106,98	51,57	8,871	8,964	24096	2121	73,31	B	50,06	
11A2	280,00	107,61	44,33	8,628	8,749	21167	1295	51,46	B	44,89	
11B	280,00	115,21	57,75	9,078	9,189	14434	2902	77,23	C	54,34	
12A	280,00	111,44	58,47	9,021	9,133	10725	1715	42,51	A	40,57	
12B	280,00	118,66	56,63	9,031	9,135	9878	2414	54,49	B	48,76	
13A	280,00	116,46	55,10	8,579	8,644	17181	2263	54,50	A	41,11	
13B1	280,00	116,84	58,29	8,531	8,600	15151	2698	61,03	B	48,61	
14A1	280,00	117,60	55,45	9,243	9,313	22412	2057	54,72	B	50,61	
14B1	280,00	115,69	57,85	9,062	9,129	16196	3082	71,65	E	45,71	
15A	280,00	116,31	55,04	9,024	9,116	17761	2544	69,70	C	41,54	
15B	280,00	114,56	59,51	9,224	9,320	16475	2263	59,11	B	49,49	
16A1	280,00	112,31	57,43	8,674	8,771	17930	1746	49,17	B	36,84	
16A2	280,00	112,13	48,32	8,748	8,866	17604	1781	59,81	A	37,28	
16B	280,00	115,08	57,93	8,622	8,699	20813	2911	77,40	A	53,82	
17A1	280,00	118,33	59,08	8,711	8,791	18068	2074	51,15	B	50,86	
17A2	280,00	117,43	54,59	8,673	8,734	18023	2341	55,97	A	46,86	
17B1	280,00	115,36	58,06	8,695	8,775	19844	2747	72,53	B	49,31	
17B2	280,00	116,85	58,53	8,729	8,833	14570	2939	75,02	B	49,73	
18A1	240,00	104,87	58,26	9,180	9,274	22404	2772	88,26	A	41,07	
18A2	280,00	116,77	54,55	8,791	8,875	19391	2644	72,51	B	45,20	
18B	280,00	115,53	57,91	8,603	8,651	22678	3172	73,87	A	44,95	
19A1	280,00	115,10	54,76	9,092	9,156	18190	3033	75,26	B	44,72	
19A2	280,00	115,97	47,49	8,626	8,710	15621	1892	53,32	B	39,20	
19B1	280,00	116,07	58,00	8,577	8,651	14483	3086	71,09	B	56,85	
20A1	280,00	116,77	54,99	8,710	8,807	16659	2394	65,13	B	43,43	
20A2	280,00	116,98	48,60	9,247	9,331	21651	2214	67,91	B	45,89	
20B	280,00	116,83	58,29	8,705	8,772	15608	2627	59,44	A	39,11	
21A	280,00	110,47	53,86	8,602	8,686	15939	3044	83,37	B	46,55	
21B	280,00	114,12	57,23	8,672	8,743	23427	2622	71,76	B	49,65	
22A	280,00	113,60	53,85	9,153	9,218	18942	3038	78,69	B	53,54	
22B	280,00	99,45	57,21	8,749	8,863	22056	1938	69,87	B	56,69	
23A	280,00	114,07	57,58	8,879	8,996	14152	2145	58,41	A	48,39	
23B	280,00	115,90	58,97	9,136	9,215	19510	2210	56,92	B	57,48	
24A	280,00	105,01	53,17	9,137	9,219	19254	2802	86,03	B	59,47	
24B	280,00	105,02	54,25	8,928	9,045	19243	2360	80,45	B	55,02	
25A	280,00	114,38	54,64	8,744	8,812	25453	2874	82,03	B	55,01	
25B	280,00	83,03	55,52	9,286	9,549	16927	1309	*		53,00	
26A	280,00	105,83	54,65	8,785	8,885	21842	2383	79,42	B	46,37	
26B	280,00	112,15	55,32	8,638	8,701	19774	2794	72,28	B	53,97	
27A	280,00	114,95	53,39	8,926	8,972	26058	2709	69,12	B	49,22	
27B	240,00	98,07	54,14	8,801	8,936	20525	2153	84,35	B	52,96	
28A	280,00	116,99	59,46	9,192	9,254	23972	2257	56,58	B	50,79	
28B	280,00	116,33	54,83	8,672	8,767	17253	2378	65,37	B	58,15	
29A	280,00	116,01	54,31	8,766	8,848	20349	2451	68,41	C	53,30	
29B	280,00	114,50	51,97	9,258	9,346	20609	2499	74,82	B	54,93	
31A1	280,00	95,02	54,30	9,056	9,248	15820	1687	*		55,15	
31B	240,00	75,43	55,34	9,374	9,799	14017	1024	*		53,11	
32A	280,00	99,46	54,85	9,173	9,310	19135	1977	74,32	E	47,58	
32B	280,00	113,56	54,47	9,064	9,081		3464	88,76	B	51,02	
33A	240,00	93,18	57,12	8,736	8,924	16286	1313	54,01	B	55,46	
33B	240,00	107,02	54,39	9,495	9,620	16978	2522	82,58	B	49,93	
34A	280,00	104,18	55,12	9,174	9,341	13597	2015	68,72	B	52,87	
34B	280,00	109,31	57,28	8,835	8,893	22402	3305	86,93	A	54,62	
35A1	280,00	102,80	53,80	8,728	8,842	21237	1993	71,51	B	48,34	
35A2	280,00	106,59	50,19	9,442	9,558	20069	1816	64,97	B	54,27	
35B	280,00	112,56	57,20	8,673	8,806	13043	2076	58,44	B	46,29	

Viga	Comprim. (cm)	Larg. Média (mm)	Espes. média (mm)	Flexão estática						Compressão f _{c0} (MPa)
				a ₁₅₀ (mm)	a ₇₅₀ (mm)	E _M (MPa)	Carga Rup (kgf)	f _M (MPa)	Tipo Ruptura	
36A	240,00	94,78	53,78	9,154	9,352	15606	1848	78,03	A	41,32
36B	280,00	79,53	54,03	9,229	9,472	14715	1149	60,51	B	51,49
37A	280,00	91,23	55,60	8,807	8,972	13956	1610	62,63	B	50,80
37B	240,00	81,15	50,97	8,854	9,179	15987	1163		*	47,08
38A	280,00	98,60	53,74	8,574	8,775	13663	1685	65,78	B	46,98
38B	280,00	89,58	54,00	9,233	9,437	17868	1346	63,37	B	47,67
39A	280,00	95,62	57,62	9,165	9,333	16722	1967	76,18	B	51,32
39B	280,00	82,03	54,79	9,286	9,646	12998	1183		*	54,95
40A	280,00	90,99	51,52	8,842	9,060	16723	1470	70,30	B	49,79
40B	280,00	81,70	58,79	9,221	9,519	14809	1147		*	52,26
41A	280,00	117,24	58,58	8,879	8,953	20258	2640	66,89	B	46,92
41B	280,00	101,88	58,61	8,458	8,599	11122	2076	61,43	B	56,60
42A	280,00	104,52	54,39	0,013	0,073	26085	2172		*	40,02
42B	280,00	115,03	57,62	9,151	9,231	20167	2579	69,01	B	56,67
43A	280,00	112,98	58,31	8,836	8,952	14505	2059	56,43	B	49,48
43B	280,00	113,47	53,94	8,688	8,737	25170	2971	77,00	B	51,90
44A	280,00	113,73	54,17	8,726	8,843	15174	2249	65,47	B	49,18
44B	280,00	113,49	55,68	9,069	9,152	20949	2190	62,30	B	47,84
45A	280,00	112,56	53,70	9,009	9,112	12322	2312	61,16	A	55,52
45B	280,00	105,77	56,59	8,732	8,874	10223	1334	37,93	B	48,87
46A	280,00	115,27	58,29	8,707	8,781	21417	2714	71,48	B	45,74
46B	280,00	106,15	56,43	8,653	8,716	22860	2853	80,77	B	56,06
47A1	280,00	107,02	57,83	8,939	9,088	13398	2118	65,24	B	55,35
47A2	280,00	107,49	44,73	9,194	9,342	17208	1417	55,93	B	61,80
47B	240,00	112,89	57,24	9,078	9,179	17012	2713	75,87	B	57,86
48A1	280,00	114,31	53,99	8,733	8,841	16248	2399	69,38	B	50,64
48A2	280,00	116,83	48,82	9,105	9,187	22163	2300	70,41	B	52,12
48B	240,00	114,39	57,19	8,313	8,394	20407	2928	79,82	B	59,66
49A1	280,00	116,50	57,87	8,561	8,615	19669	2929	67,12	B	51,21
49A2	280,00	117,49	48,29	8,595	8,658	19698	2745	74,12	B	48,54
49B	280,00	116,42	54,43	8,963	9,052	18510	2267	62,69	B	54,25
50A1	280,00	111,28	55,28	8,666	8,784	15739	2111	62,90	C	58,65
50A2	280,00	112,60	52,37	8,708	8,824	16316	2146	65,94	B	51,12
50B	280,00	116,00	58,33	9,285	9,355	22202	2857	74,26	B	53,00
51A1	280,00	115,00	54,16	8,665	8,745	21471	2466	70,23	B	49,43
51A2	280,00	113,99	55,20	8,863	8,981	14667	2069	58,85	B	53,41
51B	280,00	109,55	56,71	9,099	9,194	19975	2304	69,06	B	46,92
52A	240,00	111,14	55,75	9,075	9,172	19059	2536	75,13	B	57,08
52B	240,00	90,89	54,29	9,195	9,422	15289	1689	76,82	B	45,45
53A1	280,00	118,39	55,71	8,686	8,782	15944	2316	60,51	B	49,21
53A2	280,00	117,74	58,83	9,176	9,272	15352	2517	62,97	A	39,63
53B1	240,00	113,88	54,30	8,772	8,872	17641	2662	77,11	E	44,15
53B2	280,00	117,05	48,31	9,191	9,300	16758	2643	81,47	C	50,97
54A	280,00	117,15	58,57	8,615	8,669	19116	2954	66,15	B	41,89
54B	280,00	101,87	58,28	8,595	8,733	16644	2134	71,99	B	48,28
55A	280,00	114,38	56,60	8,674	8,765	18361	2461	67,81	B	57,47
55B	280,00	117,32	58,51	9,097	9,167	21396	2455	62,19	B	50,30
56A	280,00	116,80	58,42	8,692	8,765	20823	2646	67,73	C	46,11
56B	280,00	116,00	56,99	8,806	8,880	21493	2757	73,34	B	48,43
57A	280,00	108,44	51,47	8,736	8,884	14566	1537	51,80	B	47,59
57B	280,00	115,23	54,33	9,215	9,299	20264	1930	54,58	A	42,92
58A	280,00	114,32	54,11	9,048	9,108	20038	2648	67,40	B	39,83
58B	280,00	113,59	59,12	9,185	9,271	18989	2070	55,36	A	41,33
59A	280,00	115,97	57,12	8,943	9,023	19852	2456	65,22	E	44,97
59B	280,00	106,62	56,45	9,152	9,250	21099	1951	62,01	B	48,75
60A	280,00	115,97	53,85	8,624	8,740	14522	2503	70,50	B	41,40
60B	280,00	116,08	58,05	8,647	8,696	21847	2598	59,79	B	47,66
61A	240,00	113,32	52,85	8,799	8,891	19998	2262	67,99	B	46,60
61B	280,00	90,17	53,61	8,931	9,198	13483	1248	58,41	B	47,15
62A	280,00	115,61	58,68	8,990	9,061	21976	2361	61,40	A	49,07
62B	240,00	79,69	57,23	8,568	8,874	15966	1115	62,59	A	54,63
63A	280,00	115,20	57,67	8,602	8,691	18029	2539	67,67	B	51,06
63B	280,00	96,71	55,09	8,735	8,864	15121	2763	96,52	B	44,19
64A	280,00	113,45	53,46	9,039	9,152	11020	2661	69,62	B	56,17
64B	240,00	94,69	54,10	8,861	9,047	16563	1943	81,72	B	53,47
65A	280,00	116,43	54,15	8,575	8,679	15919	2607	72,45	B	51,38
65B	280,00	100,14	58,20	8,760	8,895	17931	1874	65,50	B	41,64
66A	280,00	115,97	57,99	9,192	9,304	13969	2064	53,99	B	57,38
66B	280,00	97,09	54,25	9,225	9,405	15833	1453	57,97	B	48,78
67A	280,00	116,13	56,71	9,087	9,170	19194	2617	69,80	B	52,72
67B	280,00	116,25	54,66	8,629	8,718	18516	2272	62,75	B	46,49
68A	280,00	114,82	54,73	9,122	9,229	15962	2858	80,80	C	41,18
68B	240,00	88,46	57,81	9,092	9,336	14490	1663	74,99	A	52,51
69A	280,00	114,15	56,47	9,166	9,245	21324	2918	80,90	B	54,75
69B	280,00	107,12	53,92	9,201	9,305	20526	2514	82,89	B	47,02

Viga				Flexão estática						Compressão
	Comprim. (cm)	Larg. Média (mm)	Espes. média (mm)	a_{150} (mm)	a_{750} (mm)	E_M (MPa)	Carga Rup (kgf)	f_M (MPa)	Tipo Ruptura	
70A	280,00	110,16	56,49	9,188	9,298	17032	2795	83,17	C	52,76
70B	280,00	106,16	55,08	9,329	9,468	15446	2163	71,08	B	55,07
71A	280,00	106,67	55,64	9,094	9,202	19399	1551	49,97	B	42,37
72A	280,00	116,02	58,09	8,592	8,689	11046	2681	61,72	B	29,87
72B	280,00	113,91	59,06	9,241	9,308	24191	2302	61,28	B	46,74
73A	280,00	115,32	57,81	8,604	8,749	11008	2592	68,78	B	50,61
73B	280,00	110,66	56,79	9,029	9,091	20373	2313	59,87	A	46,46
74A	280,00	117,60	59,53	9,378	9,489	13167	2388	59,18	B	46,96
74B	280,00	115,76	57,48	8,638	8,731	17064	2930	77,60	B	49,87
75A	280,00	107,61	54,90	9,159	9,257	14497	2462	69,70	B	43,79
75B	280,00	106,95	50,53	9,147	9,293	15676	1932	68,18	B	44,38
76A	280,00	118,32	58,27	9,277	9,378	14512	2074	51,86	B	42,50
76B	280,00	116,71	57,60	9,062	9,177	13436	2586	67,23	B	50,54
77A	240,00	115,01	57,67	9,397	9,542	11124	2410	64,46	B	50,88
77B	280,00	115,00	58,18	9,098	9,194	16660	2631	69,76	B	47,94
78A1	280,00	115,84	56,13	9,317	9,410	17438	2445	66,22	B	51,27
78A2	280,00	108,40	46,04	8,799	8,960	14986	1381	52,07	B	45,98
78B	240,00	114,33	58,90	8,497	8,581	19136	2716	71,97	B	49,39
79A	280,00	118,18	59,03	9,142	9,223	17930	2042	50,53	B	40,92
79B	280,00	116,75	58,52	9,317	9,409	16517	2516	64,35	B	52,38
80A1	280,00	95,94	54,50	8,994	9,143	13557	1678	60,22	A	41,75
80A2	280,00	115,89	58,44	9,113	9,176	16962	2948	67,61	B	50,85
80B1	280,00	117,95	56,33	9,142	9,258	13197	2451	63,81	B	53,80
80B2	280,00	82,81	58,30	8,748	9,074	13109	1057	*	*	50,64
81A	240,00	113,96	56,31	9,285	9,390	16168	2353	65,63	A	56,87
81B	280,00	104,78	54,19	8,783	8,881	23160	2276	78,04	B	53,77
82A	280,00	114,47	58,21	9,127	9,193	24555	2724	72,85	B	39,03
82B	280,00	116,25	57,78	8,613	8,677	24356	2920	76,29	A	57,80
83A	280,00	110,34	53,55	8,632	8,686	25023	2662	73,50	B	46,96
83B	280,00	113,71	52,59	9,314	9,375	29999	3155	94,65	C	50,36
84A	280,00	111,19	57,00	8,691	8,772	22296	2825	81,78	B	53,40
84B	280,00	105,20	56,11	9,223	9,319	22559	2699	88,66	B	62,05
85A	280,00	116,11	53,94	8,595	8,675	20947	2624	73,61	B	52,56
85B	280,00	105,57	53,95	8,993	9,080	17598	2738	81,96	B	56,27
86A	280,00	111,32	53,90	9,159	9,224	20112	2858	77,02	A	53,87
86B	280,00	114,77	53,74	9,013	9,075	28095	3200	92,23	C	42,47
87A	280,00	97,72	56,36	8,642	8,814	15644	1525	57,81	A	45,74
87B	280,00	100,54	56,82	8,994	9,103	22480	2848	101,16	C	52,79
88A	280,00	109,35	53,44	8,776	8,828	26751	2892	81,46	B	55,99
88B	280,00	115,23	54,84	8,589	8,647	29076	3217	90,13	C	59,76
89A	280,00	111,27	52,93	9,153	9,223	19043	2816	77,35	B	45,69
89B	280,00	111,50	54,08	8,884	8,950	19644	3351	89,71	A	57,34
90A1	280,00	116,41	53,26	9,112	9,185	15846	3243	80,87	B	55,46
90A2	240,00	113,47	53,74	8,669	8,746	23401	3252	95,87	B	57,51
90B	280,00	115,72	53,31	9,087	9,153	25955	2923	83,54	A	61,21
91A	280,00	103,11	58,54	8,814	8,939	17638	2206	72,31	B	43,22
91B	280,00	115,91	57,28	9,356	9,432	20875	2930	77,68	C	43,58
92A	280,00	118,08	59,29	8,734	8,797	23010	2484	61,30	B	42,04
92B	280,00	106,10	57,23	8,620	8,746	16426	2509	79,44	B	48,08
93A	280,00	116,68	55,06	9,026	9,123	16675	2339	63,65	A	45,67
93B	280,00	117,60	58,73	8,723	8,777	27433	2302	57,82	B	44,07
94A1	280,00	112,46	58,28	8,697	8,798	16900	2416	66,86	B	47,11
94B	280,00	116,74	54,92	8,822	8,897	21591	2395	65,28	C	45,79
95A	240,00	115,33	57,53	9,096	9,209	14187	1962	52,30	B	45,73
95B	240,00	114,34	54,05	9,186	9,265	22170	2769	79,94	C	44,12
96A	240,00	106,48	55,18	9,237	9,375	15390	1658	54,06	B	52,80
96B	280,00	115,80	54,33	8,768	8,847	21230	2588	72,47	C	43,42
97A	280,00	116,52	55,84	8,684	8,788	15401	1916	51,56	B	39,08
97B	280,00	111,83	58,55	8,731	8,827	17999	2554	71,15	B	43,68
98A	280,00	113,81	54,29	8,970	9,026	21685	2805	71,79	B	45,33
98B	280,00	108,24	58,83	8,627	8,686	22079	2745	71,68	B	43,83
99A	280,00	117,08	57,39	8,782	8,863	18964	2602	67,47	B	42,22
99B	280,00	116,72	57,85	9,232	9,327	16192	2088	54,05	A	52,34
100A	280,00	107,40	54,56	9,232	9,369	15281	1284	41,62	A	32,77
100B	280,00	111,56	58,24	9,135	9,206	24643	2706	76,15	A	45,92
101A1	280,00	118,31	55,93	9,458	9,549	16789	2685	69,97	C	40,16
101A2	280,00	117,26	55,47	8,825	8,923	16144	1944	52,00	A	57,05
101A3	280,00	82,54	51,33	9,111	9,162	*	2571	*	*	46,50
101A4	280,00	111,17	51,95	9,186	9,288	19436	2473	78,58	C	58,92
101A5	280,00	106,17	51,20	9,315	9,429	20258	2472	87,38	B	47,55
101B1	280,00	118,01	58,77	9,193	9,294	14505	1713	42,70	A	38,97
101B2	240,00	113,18	58,10	8,973	9,080	15700	3011	82,54	A	58,72
101B3	280,00	114,90	57,70	8,672	8,770	16497	2342	62,72	A	54,22
102A1	280,00	110,67	58,28	9,102	9,224	14681	3028	86,53	B	53,61
102A2	280,00	110,91	58,56	8,969	9,060	19464	2582	73,13	B	49,57
102A3	280,00	105,75	55,85	9,175	9,308	16105	1645	53,72	A	49,83
102A4	280,00	114,07	55,63	8,883	8,963	21419	1609	45,34	B	54,57
102A5	280,00	96,64	54,55	8,645	8,803	18190	1790	71,68	B	39,64
102A6	280,00	106,52	55,59	8,571	8,694	17121	2195	70,99	B	52,03
102A7	280,00	113,69	58,92	8,935	9,000	25144	2606	69,81	B	51,24

Viga	Comprim. (cm)	Larg. Média (mm)	Espes. média (mm)	Flexão estática							Compressão
				a ₁₅₀ (mm)	a ₇₅₀ (mm)	E _M (MPa)	Carga Rup (kgf)	f _M (MPa)	Tipo Ruptura	f _{c0} (MPa)	
102B1	280,00	113,76	57,83	8,693	8,748	30222	2438	66,46	B	57,43	
102B2	280,00	116,61	52,67	9,014	9,139	13554	2542	72,40	B	48,34	
102B3	280,00	115,42	58,52	8,811	8,901	17474	2419	63,30	B	56,32	
102B4	280,00	116,41	57,93	9,377	9,453	20373	1929	50,13	B	48,94	
102B5	240,00	105,14	54,15	8,773	8,882	20626	2209	75,28	C	51,22	
102B6	280,00	105,66	58,41	9,123	9,227	19745	2746	85,90	C	47,89	
103A1	280,00	116,33	53,64	9,073	9,161	19038	2498	70,19	A	56,36	
103A2	280,00	117,28	55,07	9,129	9,231	15616	2327	62,67	B	34,59	
103A3	240,00	114,32	53,82	8,712	8,804	19128	2829	82,05	B	54,94	
103A4	280,00	112,10	58,36	8,619	8,712	18506	2975	82,75	B	48,57	
103B1	280,00	117,69	54,56	8,622	8,714	17295	2565	69,25	B	54,15	
103B2	240,00	115,75	47,22	8,660	8,763	18762	1782	57,47	A	49,87	
103B3	280,00	115,42	54,20	8,816	8,901	19976	2842	80,30	B	58,21	
104A1	280,00	116,84	54,99	9,117	9,204	18541	3084	83,80	B	58,64	
104A2	280,00	116,50	55,39	8,935	9,050	14047	2139	58,04	B	41,84	
104A3	280,00	112,81	54,06	9,141	9,231	20256	2966	87,94	B	50,08	
104A4	280,00	112,95	55,79	8,694	8,781	20231	2872	82,32	C	55,20	
104A5	280,00	105,96	53,04	8,816	8,942	17796	2457	84,17	B	57,70	
104B1	280,00	117,88	58,54	8,775	8,842	22024	2873	72,05	B	58,36	
104B2	240,00	114,89	56,69	8,769	8,848	20830	3106	84,67	C	54,12	
104B3	240,00	112,63	57,61	9,028	9,094	26049	2905	81,10	B	54,19	
104B4	280,00	113,66	50,77	8,817	8,918	18796	2636	82,00	C	51,29	
105A1	280,00	116,13	51,82	8,693	8,790	17975	2292	66,91	B	49,98	
105A2	280,00	110,80	53,12	8,859	8,986	15418	1862	58,24	A	56,43	
105A3	280,00	92,18	51,67	9,414	9,616	17310	1555	72,26	B	54,03	
105A4	280,00	115,37	54,55	8,913	9,008	17780	2756	77,43	B	64,70	
105A5	280,00	113,48	57,13	9,388	9,461	23217	2839	78,72	C	57,20	
105A6	240,00	80,72	56,93	9,092	9,359	17701	1552	85,36	B	58,30	
105B1	280,00	107,30	54,87	9,179	9,273	22204	2660	85,89	B	59,12	
105B2	280,00	106,36	54,59	8,632	8,766	16076	2727	90,08	B	64,93	
105B3	280,00	106,32	54,34	8,947	9,081	16169	1964	65,23	B	44,91	
105B4	280,00	105,18	54,21	9,298	9,401	21776	2489	84,66	B	62,54	
106A1	280,00	105,17	53,80	8,671	8,777	21330	2653	90,95	B	65,64	
106A2	280,00	114,19	54,50	9,006	9,130	14062	2668	76,59	B	43,37	
106A3	280,00	110,39	51,49	9,057	9,152	14770	3135	89,93	A	55,80	
106B1	280,00	113,79	53,57	9,224	9,310	20842	2892	85,04	B	65,56	
106B2	280,00	116,72	58,95	9,160	9,220	25159	2737	69,53	B	49,42	
106B3	280,00	115,43	57,70	8,890	8,973	19210	3108	82,47	C	48,57	
107A1	280,00	115,95	59,01	9,134	9,205	21666	3307	85,04	B	61,20	
107A2	280,00	117,16	57,32	8,898	8,985	17644	2442	63,32	C	45,43	
107A3	280,00	114,50	54,44	9,333	9,396	27481	2979	85,14	B	56,30	
107A4	280,00	115,87	58,49	8,570	8,672	15248	3203	83,22	C	60,73	
107B1	280,00	115,72	55,79	8,817	8,894	21258	1865	50,93	A	51,36	
107B2	280,00	113,08	54,91	9,447	9,527	22277	2786	80,94	C	61,32	
107B3	280,00	116,06	53,92	9,309	9,419	15258	2899	81,42	B	60,56	
107B4	280,00	108,13	50,98	9,045	9,155	19959	2362	80,84	B	60,30	
108A1	280,00	116,26	58,37	8,633	8,712	19527	2745	70,98	C	61,28	
108A2	280,00	116,12	57,64	9,098	9,191	16856	1885	49,47	A	49,42	
108A3	280,00	114,92	56,22	8,493	8,569	21821	2870	78,86	C	48,55	
108A4	280,00	115,69	54,58	8,627	8,706	21194	2730	76,24	C	47,54	
108B1	280,00	113,93	57,03	8,819	8,913	17847	3113	85,78	B	57,83	
108B2	280,00	115,54	58,69	8,716	8,794	20042	2981	77,63	B	49,67	
108B3	240,00	113,02	56,81	8,730	8,813	20785	3290	92,48	B	67,65	
109A1	280,00	117,36	57,88	8,604	8,662	26074	2768	70,83	B	51,44	
109A2	280,00	114,71	53,82	8,808	8,892	20737	2948	84,93	B	64,89	
109A3	280,00	116,25	42,84	9,060	9,178	17818	2678	94,37	B	68,46	
109B1	280,00	116,58	53,81	8,641	8,708	24770	3025	84,38	C	58,76	
109B2	280,00	116,07	57,68	8,673	8,751	20113	2955	77,58	B	58,76	
110A1	280,00	111,89	57,70	8,740	8,843	16995	2449	69,16	B	60,75	
110A2	280,00	110,90	57,80	9,141	9,231	19940	2613	74,98	B	61,94	
110A3	240,00	113,65	54,53	8,820	8,911	19425	2589	74,99	B	61,14	
110A4	280,00	114,90	55,22	8,820	8,901	20855	3101	86,77	C	61,61	
110B1	280,00	116,30	50,99	9,328	9,404	23215	2801	82,86	C	45,27	
110B2	240,00	120,14	54,38	8,657	8,763	14157	2537	65,94	B	53,39	
110B3	280,00	114,38	50,54	9,059	9,148	21023	3164	97,62	B	58,65	
Mínimo	240,00	75,43	42,84			9878	1024	37,93		29,87	
Máximo	280,00	120,14	59,53			30222	3464	101,16		68,46	
Médio	275,27	110,73	55,51			18577	2427	70,66		50,72	
D. Padrão	12,94	8,49	2,81			3660	511	11,44		6,36	
C. V. (%)	4,70	7,67	5,06			19,70	21,04	16,18		12,53	