

CI

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**INFLUÊNCIA DA DIMENSÃO DO CORPO-DE-PROVA NO
ENSAIO DESTRUTIVO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS
FIBRAS E NO ENSAIO NÃO-DESTRUTIVO UTILIZANDO
ULTRA-SOM**

ALEX JULIO TRINCA

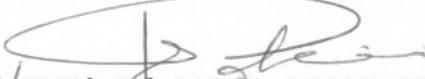
CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2006

**BIBLIOTECA CENTRAL
DESENVOLVIMENTO
COLEÇÃO
UNICAMP**

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por **ALEX JÚLIO TRINCA**, aprovada pela Comissão Julgadora em 22 de fevereiro de 2006.

Campinas, 30 de agosto de 2006.


P/ **PROF.ª DR.ª RAQUEL GONÇALVES**
Presidente

CAMPINAS
FEBREIRO DE 2006

BIBLIOTECA CENTRAL
DESENVOLVIMENTO
COLÉGIO
UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**INFLUÊNCIA DA DIMENSÃO DO CORPO-DE-PROVA NO
ENSAIO DESTRUTIVO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS
FIBRAS E NO ENSAIO NÃO-DESTRUTIVO UTILIZANDO
ULTRA-SOM**

Plano de pesquisa submetido em
Exame de Qualificação para
obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Agrícola na Área de
Concentração de Construções
Rurais e Ambiente

ALEX JULIO TRINCA

ORIENTADORA: RAQUEL GONÇALVES

**CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2006**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

T736m Trinca, Alex Julio
Influência da dimensão do corpo-de-prova no ensaio destrutivo de compressão paralela às fibras e no ensaio não-destrutivos utilizando ultra-som / Alex Julio Trinca. --Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Raquel Gonçalves
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Estruturas de madeira (construção civil). 2. Industria da madeira. 3. Testes não-destrutivos. 4. Ultra-som. 5. Madeira – Propriedade mecânicos. 6. Madeira – Estruturas. I. Gonçalves, Raquel. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Influence of the specimen size on destructive methods of parallel compression grain and on the test non-destructive using ultra sonic waves

Palavras-chave em Inglês: Modulus of elasticity of wood, Compression strength parallel to grain, Ultrasonic wave velocity, Dynamic constant

Área de concentração: Construção Rurais e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Francisco Antonio Rocco Lahr e André Bartholomeu

Data da defesa: 22/02/2006.

A vida só vale ser vivida se deixarmos marcas pelo caminho, pois até as pedras quando rolam deixam as suas marcas.

O que podemos dizer de uma existência...

Palavras que nortearam minha vida.

Dedicatória.

Dedico este trabalho ao Professor Fabio Sergio Carrion.
Pelo exemplo de profissional e de seu caráter.

Meu imenso muito obrigado

Agradecimentos.

Ao departamento regional do SENAI São Paulo, pelo apoio e incentivo para execução deste trabalho. Em especial ao SENAI Escola ``Luiz Scavone``, onde o trabalho foi realizado.

Ao Professor Amélio Vieira Neto (diretor), Professora Eliana Aparecida Bisetto de Andrade (coordenadora pedagógica), Professor Antonio Paulo de Oliveira, Professor Valdomiro Martins Fernandes, Professor Fernando Perdão, Professor Carlos da Silva Reis, aos técnicos Daniele Alessandra Alves e Gustavo Fazan, pessoas estas que colaboraram mais do que fisicamente, me apoiando na execução deste trabalho.

À Professora Doutora Raquel Gonçalves, pela dedicação e o incentivo durante todo tempo em que este trabalho esteve sendo executado. Sem sua orientação e apoio, certamente o objetivo não teria sido alcançado.

Ao Professor Doutor André Bartholomeu, que com seu entusiasmo contagiante pela pesquisa, me contaminou para o trabalho com Ultra-som na madeira.

Aos professores e funcionários da FEAGRI-UNICAMP, pela dedicação e pela ajuda nos diversos momentos nos quais foram solicitados.

Ao Senhor Luiz Augusto Silveira Pupo, da empresa Pupo Madeiras & Esquadrias, pelo apoio a pesquisa.

E, por fim, à minha família, pelo suporte, compreensão e, principalmente, pelo amor dedicado..

SUMÁRIO

| | |
|--|--------------------------------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | VII |
| LISTAS DE TABELAS..... | IX |
| RESUMO..... | XIII |
| ABSTRACT..... | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1.Justificativa para o desenvolvimento do trabalho | 3 |
| 1.2.Hipótese:..... | 4 |
| 2.OBJETIVOS:..... | 5 |
| 2.1.Objetivo geral: | 5 |
| 2.2.Objetivos específicos: | 5 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 6 |
| 3.1. Norma brasileira de cálculo de estruturas de madeira | 6 |
| 3.2.Variação do comprimento e sua influência na resistência | 6 |
| 3.3. A influência da umidade | 7 |
| 3.4.O efeito de flambagem..... | 9 |
| 3.5. Outras influências importantes no ensaio de resistência da madeira à compressão paralela às fibras . | 10 |
| 3.5.1.Velocidade de ensaio | 10 |
| 3.5.2.Forma de ruptura do corpo-de-prova | 10 |
| 3.5.3.Dispositivos de ensaio de compressão paralela às fibras | 12 |
| 3.6. O uso do ultra-som na determinação de constantes elásticas de madeira. | 12 |
| 3.7. Fatores que afetam a propagação do ultra-som na madeira. | 14 |

| | |
|--|------------|
| 3.7.1. Teor de umidade | 15 |
| 3.7.2. Dimensão da seção transversal e comprimento do corpo-de-prova ou da peça estrutural | 17 |
| 3.7.3.Freqüência | 20 |
| 3.7.4. Acoplante..... | 21 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 4.1. Material e Equipamentos:..... | 22 |
| 4.1.1. Material..... | 22 |
| 4.1.2. Equipamentos | 26 |
| 4.2. Métodos | 30 |
| 4.2.1. Aquisição das peças madeira para a retirada dos corpos-de-prova | 30 |
| 4.2.2. Preparo das amostras para os ensaios | 30 |
| 4.2.3. Seleção dos corpos-de-prova | 32 |
| 4.2.3. Ensaio de ultra-som | 33 |
| 4.2.4. Ensaio de Compressão Paralela às Fibras | 34 |
| 4.3. Análise dos Resultados..... | 36 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 6. CONCLUSÕES | 116 |
| 6.1 Relativas à Hipótese do Trabalho | 116 |
| 6.2 Relativas aos Objetivos Secundários..... | 116 |
| 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 118 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--------------|---|----|
| Figura (1.1) | A evolução das exportações do Brasil. Fonte Abimóvel (2005) | 02 |
| Figura (3.1) | Classificação dos tipos de ruptura em um ensaio de compressão paralela às fibras | 12 |
| Figura (3.2) | Esquema do corpo-de-prova para o ensaio de compressão paralela | 13 |
| Figura (3.3) | Variação da velocidade longitudinal de ultra-som (m/s) em corpos-de-prova da espécie <i>Metasequoia</i> , em função do teor de umidade (Curva U1). Variação dos valores de atenuação das ondas ultrassônicas (em dB), em função do teor de umidade (Curva U2) (SAKAI et al., citados por BUCUR, (1995)), adaptado por Bartholomeu, 2001 | 16 |
| Figura (3.4) | Variação da velocidade de propagação (m/s) de ondas longitudinais em função da relação base / altura em corpos-de-prova de <i>Sapin Douglas</i> (BUCUR, 1984), adaptado por Bartholomeu, 2001. | 18 |
| Figura (3.5) | Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de Hêtre (BUCUR, 1984). Adaptado por Bartholomeu. (2001). | 19 |
| Figura (4.1) | Câmara climática, com controle de temperatura e umidade (Laboratório de Ensaios do SENAI de Itatiba). | 25 |
| Figura (4.2) | Corpos-de-prova de Pinus e Eucalipto para avaliação visual depois do ensaio de compressão paralela às fibra | 26 |
| Figura (4.3) | Máquina de ensaio (Laboratório de Ensaios do SENAI de Itatiba). | 27 |
| Figura (4.4) | Equipamento Steinkamp Ultrasonic Tester BP5 acoplado com transdutor (equipamento de propriedade do Professor André Bartholomeu) | 28 |
| Figura (4.5) | Equipamento EPOCH da Panametrics-NDT acoplado a transdutor de face plana e frequência de 100 kHz - Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP | 29 |
| Figura (4.6) | Medidor de umidade superficial de três pólos; marca TCS modelo 75 E | 30 |
| Figura (4.7) | Esquema de corte dos corpos-de-prova | 31 |
| Figura (4.8) | Ilustração do corte de um terço para composição do corpo-de-prova | 32 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Figura (4.9) | Ensaio de compressão paralela às fibras em corpo-de-prova de dimensões nominais 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m (Laboratório de Ensaio de Materiais do SENAI - Itatiba). | 35 |
| Figura (4.10) | Ensaio de compressão paralela às fibras em corpo-de-prova de dimensões nominais 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m (Laboratório de Ensaio de Materiais do SENAI Itatiba). | 35 |
| Figura (5.1) | Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de eucalipto grandis | 113 |
| Figura (5.2) | Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de pinus elliottii | 113 |
| Figura (5.3) | Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de eucalipto e pinus elliottii | 114 |

LISTAS DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 1.1 | Porte, número de empresas e de empregos da indústria de móveis (Mercado Formal) – 2002: Fonte: Ministério do Trabalho (Rais/98 – Mtb). | 02 |
| Tabela 1.2 | Principais Estados exportadores do Brasil em dezembro de 2005 (em US\$) Fonte Abimóvel, 2006 | 03 |
| Tabela 4.1 | Tabela de densidade em função da umidade | 23 |
| Tabela 5.1 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cerejeira 0,03m x 0,03m x 0,09 m | 40 |
| Tabela 5.2 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cerejeira 0,05 m x 0,05m x 0,15 m | 42 |
| Tabela 5.3 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Perobinha 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m | 44 |
| Tabela 5.4 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Perobinha 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m | 46 |
| Tabela 5.5 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Angico-preto 0,03 m x 0,03m x 0,09 m | 48 |
| Tabela 5.6 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Angico-preto 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m | 51 |
| Tabela 5.7 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cabreúva-vermelha 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m | 54 |
| Tabela 5.8 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cabreúva-vermelha 0,05m x 0,05 m x 0,15 m | 56 |
| Tabela 5.9 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Garapeira 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m | 58 |
| Tabela 5.10 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Garapeira 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m | 60 |
| Tabela 5.11 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Eucalypto 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m | 62 |
| Tabela 5.12 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Eucalypto 0,05 m x | 66 |

| | | |
|-------------|---|----|
| | 0,05 m x 0,15 m | |
| Tabela 5.13 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Pinnus 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m | 68 |
| Tabela 5.14 | Resultados dos ensaios de compressão paralela. Pinnus 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m | 71 |
| Tabela 5.15 | Médias e variabilidade dos resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras considerando apenas os corpos-de-prova isentos de defeitos. | 73 |
| Tabela 5.16 | Médias e variabilidade dos resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras considerando todos os corpos-de-prova. | 74 |
| Tabela 5.17 | Resumo da Avaliação Estatística da comparação entre os parâmetros obtidos nos corpos-de-prova de (0,03 x 0,03 x 0,09) m e de (0,05 x 0,05 x 0,15) m utilizando como amostragem apenas os corpos-de-prova isentos de defeitos. | 75 |
| Tabela 5.18 | Resumo da Avaliação Estatística da comparação entre os parâmetros obtidos nos corpos-de-prova de (0,03 x 0,03 x 0,09) m e de (0,05 x 0,05 x 0,15) m utilizando como amostragem todos os corpos-de-prova. | 76 |
| Tabela 5.19 | Frequência de ocorrência dos diferentes modos de ruptura nos corpos-de-prova normalizados 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. | 77 |
| Tabela 5.20 | Frequência de ocorrência dos diferentes modos de ruptura nos corpos-de-prova de 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. | 77 |
| Tabela 5.21 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cerejeira 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz. | 79 |
| Tabela 5.22 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cerejeira 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. Transdutor de 45 kHz. | 81 |
| Tabela 5.23 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Perobinha 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz | 83 |
| Tabela 5.24 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. | 85 |

Perobinha 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. Transdutor de 45kHz.

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabela 5.25 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Angico-preto 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz. | 87 |
| Tabela 5.26 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Angico-preto 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. Transdutor de 45kHz. | 90 |
| Tabela 5.27 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cabreúva-vermelha 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m . Transdutor de 45 kHz | 92 |
| Tabela 5.28 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cabreúva-vermelha 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. Transdutor de 45kHz. | 94 |
| Tabela 5.29 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Garapeira 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. Transdutor de 45kHz. | 96 |
| Tabela 5.30 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Garapeira 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. Transdutor de 45kHz. | 98 |
| Tabela 5.31 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Eucalypto 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz. | 100 |
| Tabela 5.32 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Eucalipto 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. Transdutor de 45kHz | 104 |
| Tabela 5.33 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Pinnus 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz | 107 |
| Tabela 5.34 | Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Pinnus 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m. Transdutor de 45kHz. | 109 |
| Tabela 5.35 | Médias e variabilidade dos resultados obtidos nos ensaios não destrutivos (velocidade de propagação da onda na direção longitudinal (V_{LL}) e Constante Dinâmica (C_{LL})) considerando | 110 |

todos os corpos-de-prova. Transdutor de 45 kHz

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela 5.36 | Resumo da avaliação estatística da comparação entre as velocidades obtidas nos corpos-de-prova de (0,03 x 0,03 x 0,09) m e de (0,05 x 0,05 x 0,15) m utilizando como amostragem todos os corpos-de-prova e frequência de 45 kHz. | 111 |
| Tabela 5.37 | Relação entre comprimento de percurso (L) e comprimento de onda (λ) para os transdutores utilizados. | 112 |
| Tabela 5.38 | Velocidades de propagação nas diferentes frequências estudadas | 115 |

RESUMO

No Brasil, país que detém uma das maiores florestas do planeta, a madeira é praticamente toda exportada em sua forma *in natura* sem que a ela seja agregado valor de beneficiamento. Um dos problemas enfrentados pela indústria moveleira é o fato da madeira não ser submetida à classificação, dificultando a elaboração de projetos e a certificação da qualidade do móvel confeccionado a partir deste material. Nesse contexto as empresas moveleiras brasileiras buscam parâmetros para composição e certificação de seu produto, sendo atualmente a norma brasileira “Projeto de Estruturas de Madeira” – NBR 7190/97, o único instrumento norteador para a caracterização de propriedades da madeira. No entanto, nesse setor as dificuldades para a obtenção de corpos-de-prova nas dimensões especificadas por esse texto normativo têm gerado dúvidas quanto aos resultados de caracterização de propriedades, de maneira que este trabalho teve como objetivo principal verificar se os valores do módulo de elasticidade e da tensão de ruptura no ensaio de compressão paralela às fibras podem ser considerados estatisticamente equivalentes, desde que sejam mantidas a proporcionalidade da dimensão do corpo-de-prova. Para isso adotou-se, como alternativa ao corpo-de-prova proposto pela NBR 7190/97, a dimensão 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m. Os ensaios foram realizados utilizando-se 7 diferentes espécies de madeira com densidades variadas, buscando-se, com essa amostragem, a generalização dos resultados. Como objetivo secundário se buscou avaliar a influência das dimensões do corpo-de-prova e da frequência do transdutor na velocidade de propagação de ondas de ultra-som na direção longitudinal. As espécies adotadas foram: Cerejeira (*Torresea sp*), Perobinha (*Paratecoma peroba*), Cabreúva-vermelha (*Myroxylon peruiferum*), Angico-preto (*Anadenanthera macrocarpa*), Garapeira (*Apuleia leiocarpa*), Eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*) e Pinus elliotti (*Pinus elliottii*). Todos os corpos-de-prova foram ensaiados com aproximadamente 12% de umidade e os ensaios foram realizados em ambiente controlado ($21^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$). Os resultados permitiram concluir que a hipótese foi verdadeira para todas as espécies estudadas quando se considera a tensão de ruptura.

Para o módulo de elasticidade a hipótese não foi comprovada para duas das sete espécies estudadas (garapeira e eucalipto). No entanto, a diferença média obtida entre os resultados nos dois tamanhos de corpos-de-prova avaliados foi de 10%, portanto menor do que a variabilidade máxima admitida no ensaio mecânico (18%). No caso das 7 espécies avaliadas nesse trabalho, a velocidade de propagação das ondas não sofreu variação estatística com a modificação do tamanho do corpo-de-prova para quatro delas - cerejeira, garapeira, pinus e eucalipto, enquanto que para a perobinha, angico e cabreúva a velocidade não pôde ser considerada estatisticamente equivalentes quando se alteram as dimensões do corpo-de-prova. Em média (considerando todas as espécies estudadas), a relação entre a velocidade de propagação das ondas (V_{LL}) no corpo-de-prova normalizado e no corpo-de-prova proposto foi de 0,99, sendo as máximas e mínimas relações de 1,02 e 0,93, respectivamente. A velocidade de propagação das ondas apresenta maiores variações para valores de comprimento de percurso/comprimento de onda (L/λ) até 3, sendo mais constante a partir desse limite. Com a pesquisa foi possível concluir ainda que, para as espécies estudadas, a velocidade de propagação das ondas de ultra-som aumenta com a frequência do transdutor.

Palavras-chave: módulo de elasticidade da madeira; resistência à compressão paralela da madeira; velocidade de propagação de ondas na madeira; constante dinâmica

Abstract

Most of the exported wood in Brazil is unprocessed, without any aggregated value. To change this scenario technology for wood processing and qualification are required. One of the problems faced by the furniture industry refers to the non classification of the wood, which cause difficulties to projects elaboration and quality certification of the furniture made from this material. In this context the Brazilian Industries of furniture seek for parameters to certificate its products, and the NBR 7190/97 standard "Project of Structures of Wood " is, nowadays, the only instrument for the characterization of wood properties. However, for the furniture industry it is very difficult to obtaining the dimensions specified by the standard. This research had as main objective to verify if the means values of the modulus of elasticity and rupture in compression parallel to the grain can be considerate statistically equal, when smaller specimen are used, if the proportionality is maintained. For that it was adopted, as alternative to the specimen proposed by NBR 7190/97, the dimension 0.03 x 0.03 x 0.09 m. For the experiments there were used 7 different species with varied densities. The secondary objective was to evaluate the influence of the specimen size and of the transducer frequency in the speed of ultrasound wave propagation in the longitudinal direction. The adopted species were: Cerejeira (*Amburana cearensis*), Perobinha (*Paratecoma peroba*), Cabreúva vermelha (*Myroxylon peruiferum*), Angico-preto (*Anadenanthera macrocarpa*), Garapeira (*Apulleia leiocarpa*), Eucalyptus grandis, (*Eucalyptus grandis*) and Pinus ellioti (*Pinus elliottii*). All specimens were tested with approximately 12% moisture content and were accomplished in controlled atmosphere ($21^{\circ} C \pm 1^{\circ}C$). The results allowed concluding that the hypothesis was true for all the studied species when the rupture in compression parallel to the grain was considered. For the module of elasticity this hypothesis was not confirmed for two species, from the seven evaluated (garapeira e eucalipto). Although, the mean difference between the results obtained in the tests using both specimens size was 10%, smaller then the maximum allowed variability in mechanical tests (18%). For the ultrasonic velocity propagation four species did not presents statistical variation with the modification of the size of the specimens - cerejeira, garapeira, pinus and eucalyptus while for the perobinha, angico and cabreúva the ultrasonic wave velocity propagation could not be considered statistically equal when the

dimension of the specimens was modify. On average (considering all the studied species) the relationship among the ultrasonic wave velocity propagation (VLL) in normalized specimen and in proposed specimen was 0.99, being respectively the maximum and the lower relationships of 1.02 and 0.93. The velocity of wave propagation presents larger variations for values of length of wave percolation/wave length (L/λ) up to 3, being more constant above that limit. It was also possible to verify, for the studied species, that the velocity of wave propagation increases with the increase of the transducer frequency.

Key words: modulus of elasticity of wood; compression strength parallel to the fiber; ultrasonic wave velocity; dynamic constant

1. INTRODUÇÃO

A taxa de crescimento do Brasil como beneficiador de madeira, principalmente no setor moveleiro, tem sido contínua. Além disso, esse setor tem se aperfeiçoado constantemente, de maneira a ser possível vislumbrar consolidação e obtenção de novos mercados, em 2004, com pouco menos de 15 mil indústrias na cadeia de móveis, assim como os fornecedores, em tecnologia, mão-de-obra ou no design. Dessa forma, as diretrizes e eventos do setor têm atraído a atenção de muita gente; que no último ano apresentou faturamento de aproximadamente US\$ 990 milhões(conforme figura 1.1), conforme os dados da Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (Abimóvel). Ressalta-se que o segmento de mobiliário tem crescido numa média superior à economia nacional. Em 2002, por exemplo, o país apresentou tímido crescimento, inferior a 2%, enquanto que o mercado interno de móveis apresentou expansão de 6%.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) classifica a indústria de móveis a partir das matérias-primas predominantes, sendo as categorias básicas:

- móveis de madeira incluindo vime e junco, que constituem o principal segmento com 91% dos estabelecimentos, 83% do pessoal ocupado e 72% do valor da produção.

- móveis de metal, com 4% dos estabelecimentos, 9% do pessoal ocupado e 12% do valor da produção..

Na Tabela 1.1 são apresentados dados relativos à participação das empresas no mercado brasileiro, com distinção de porte, número de empregos gerados e porcentagem de participação, tanto em termos de quantidade quanto em termos de empregos oferecidos. Os dados desta tabela permitem inferir que as pequenas e micro empresas dominam o mercado moveleiro no Brasil.

Estima-se que a produção de móvel no mundo alcance US\$ 200 bilhões, em média, por ano.

Os países desenvolvidos detêm 79% do total mundial; sendo 64% a parcela das sete maiores economias industriais: Estados Unidos, Itália, Japão, Alemanha, Canadá, França e Reino Unido. O comércio mundial excedeu US\$ 40 milhões em 1996. Há 20 anos, o valor era de US\$ 1,5 milhão. Os números indicam que há espaço para os países emergentes. Esse é o caso de China, Taiwan, Malásia, México, Indonésia e do Brasil que, no ano passado, foi o 10º

maior vendedor para o mercado norte-americano. A Figura 1.1 apresenta a evolução das exportações do Brasil. A Tabela 1.2 apresenta a distribuição da exportação nos principais estados exportadores do Brasil em dezembro de 2005 (em US\$) Fonte Abimóvel, 2006.

Tabela 1.1 - Porte, número de empresas e emprego da indústria de móveis (Mercado Formal) – 2002. : Fonte: Ministério do Trabalho (Rais/98 – Mtb)

| Porte das empresas | Nº de empresas | Participação (%) | Empregos | Participação (%) |
|--------------------|----------------|------------------|----------|------------------|
| Grande | 9 | 0,10 | 5964 | 3,6 |
| Média | 239 | 1,6 | 45357 | 27,1 |
| Pequena | 1486 | 10,0 | 57565 | 34,4 |
| Micro | 13132 | 88,3 | 58557 | 35,0 |
| Total | 14866 | 100,0 | 167443 | 100,0 |

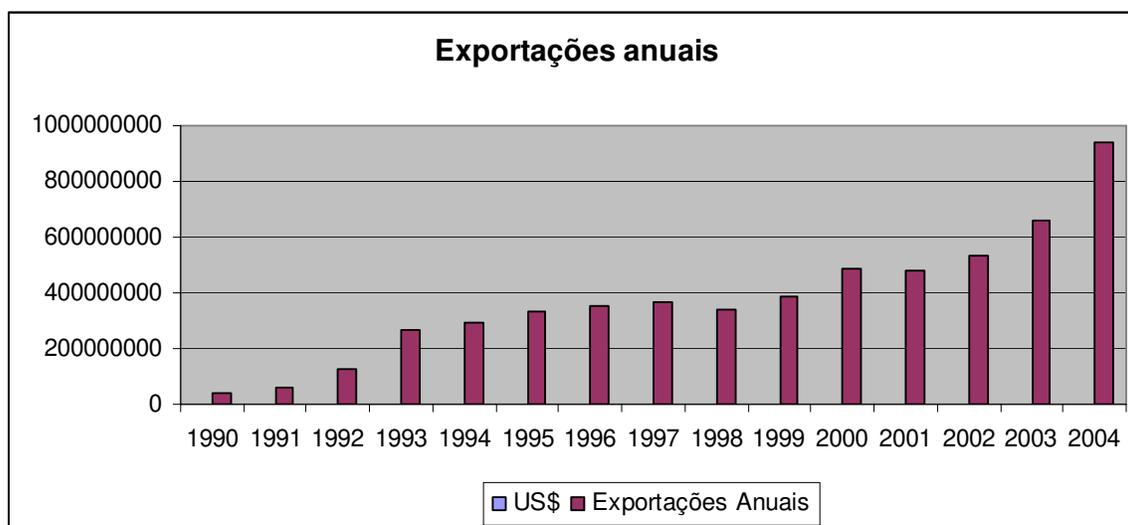


Figura 1.1 - Evolução das exportações do Brasil. Fonte Abimóvel (2005)

Tabela 1.2 - Principais Estados exportadores do Brasil em 2005 (em US\$) Fonte Abimóvel, 2006

| | | |
|---------------------|--------------------|----------------|
| SANTA CATARINA | 433.338.634 | 43,75% |
| RIO GRANDE DO SUL | 270.442.545 | 27,31% |
| PARANA | 91.731.990 | 9,26% |
| SAO PAULO | 87.427.269 | 8,83% |
| BAHIA | 68.256.572 | 6,89% |
| MINAS GERAIS | 11.190.400 | 1,13% |
| ESPIRITO SANTO | 6.425.973 | 0,65% |
| CEARA | 4.429.587 | 0,45% |
| MARANHAO | 3.987.663 | 0,40% |
| PARA | 3.308.094 | 0,33% |
| GOIAS | 2.988.023 | 0,30% |
| RIO DE JANEIRO | 2.527.747 | 0,26% |
| MATO GROSSO DO SUL | 1.442.428 | 0,15% |
| PERNAMBUCO | 1.044.608 | 0,11% |
| OUTROS | 993.655 | 0,10% |
| MATO GROSSO | 596.910 | 0,06% |
| AMAZONAS | 142.627 | 0,01% |
| RIO GRANDE DO NORTE | 96.131 | 0,01% |
| ALAGOAS | 20.232 | 0,00% |
| RONDONIA | 16.923 | 0,00% |
| RORAIMA | 9.790 | 0,00% |
| ACRE | 2.588 | 0,00% |
| PIAUI | 2.251 | 0,00% |
| SERGIPE | 1.365 | 0,00% |
| PARAIBA | 204 | 0,00% |
| Total | 990.424.209 | 100,00% |

1.1. Justificativa para o desenvolvimento do trabalho:

No Brasil, durante muitos anos se considerou que a madeira para a produção de móveis deveria apresentar características especiais, como facilidade de usinabilidade, dimensões de peças avantajadas, teor de fibras, o que fez com que o mercado fosse bastante restrito em relação às espécies utilizadas para esse fim. Atualmente, devido à escassez de matéria-prima considerada como clássica na fabricação de móveis, foi necessário o desenvolvimento de tecnologia que permitisse a utilização dos mais variados tipos de madeira,

além do desenvolvimento de ferramentas específicas para serem utilizadas na usinagem desta fonte de matéria-prima. Além disso, tornou-se imprescindível o conhecimento do comportamento da madeira sob diferentes solicitações (compressão, flexão,etc.), de maneira a viabilizar a elaboração de projetos adequadamente fundamentados em conceitos atualizados, e com a produção obedecendo a critérios de qualidade envolvendo material, equipamento e mão-de-obra.

Tendo em vista não existir norma específica para o setor moveleiro, foram adotados padrões de ensaio advindos da indústria da construção civil, no caso a norma NBR 7190/97. Projeto de estruturas de madeira. No entanto, a dimensão da madeira serrada fornecida para indústria moveleira e civil difere significativamente, visto a destinação final desse material, dificultando a elaboração de corpos-de-prova nas dimensões normalizadas.

Desta forma, este trabalho poderá contribuir para que seja avaliada a possibilidade de serem utilizadas dimensões de corpos-de-prova mais adequadas à realidade do setor moveleiro, mantendo-se a proporcionalidade e a metodologia proposta pela Norma Brasileira NBR 7190/97.

Buscando verificar a tendência atual de incorporar métodos não destrutivos na caracterização da madeira, paralelamente foram realizadas medições de velocidade de propagação de onda de ultra-som nos mesmos corpos-de-prova.

1.2.Hipótese

A elaboração do Plano de Pesquisa foi realizada com base na hipótese de que, mantida a proporcionalidade do corpo-de-prova, referente ao padrão da norma NBR 7190/97, o resultado médio do valor do módulo de elasticidade e da resistência, obtido no ensaio de compressão paralela às fibras se mantém estatisticamente equivalente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Verificar se, mantida a proporcionalidade do corpo-de-prova normalizado, o resultado médio do valor do módulo de elasticidade e da tensão de ruptura obtidos no ensaio de compressão paralelas às fibras se mantêm inalterados.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Avaliar se existe diferença estatística entre os resultados de módulo de elasticidade e de tensão de ruptura no ensaio de compressão paralela às fibras utilizando corpos-de-prova de dimensão proposta pela NBR 7190/97, e prismática, com seção transversal quadrada, de 0,03 m de lado e comprimento 0,09 m, que contemplam a matéria prima (madeira serrada) fornecida à indústria moveleira.

2.2.2. Avaliar a tendência dos resultados em função da geometria do corpo-de-prova para diferentes espécies de madeira.

2.2.3 Avaliar a influência da geometria, tamanho do corpo-de-prova na velocidade de propagação de ondas de ultra-som.

2.2.4 Avaliar a influência da relação entre o comprimento de onda (λ) e o comprimento do corpo-de-prova na velocidade de propagação do ultra-som em diferentes espécies.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Norma brasileira de Projeto de Estrutura de Madeira.

A Norma Brasileira NBR 7190/97, no seu item B.8.3, define que o corpo-de-prova da amostra deve ter forma prismática, com seção transversal quadrada, de 0,05 m de lado, e comprimento de 0,05 m.

Para se caracterizar a resistência à compressão de um dado lote de peças delgadas, permite-se empregar corpos-de-prova com seção transversal quadrada, com lado igual a espessura do elemento delgado, desde que com pelo menos 0,018 m, e comprimento igual a três vezes o lado da seção transversal; ensaiando-se pelo menos 12 corpos-de-prova, extraídos aleatoriamente de 12 diferentes peças delgadas, de acordo com item B.2. da norma”

O Item B.2. se refere à amostragem e determina que, para a investigação direta de lotes de madeira serrada, considerados homogêneos, cada lote não deve ter volume superior a 12 m³.

Do lote a ser investigado, deve-se extrair uma amostra, com corpos-de-prova retirados de forma aleatória ao longo do lote, devendo os mesmos serem representativo da totalidade deste.

Os corpos-de-prova devem ser isentos de defeitos, retirados de regiões afastadas das extremidades das peças, de pelo menos cinco vezes a menor dimensão da seção transversal, mas nunca inferior a 30 cm.

O número de corpos-de-prova deve atender aos objetivos da caracterização:

- a) Caracterização simplificada: seis corpos-de-prova;
- b) Caracterização mínima da resistência de espécies pouco conhecidas: 12 corpos-de-prova;

3.2. Variação do comprimento e sua influência na resistência:

Alguns estudos foram desenvolvidos para comparar a resistência obtida em corpos-de-prova normatizados em diferentes sistemas, dos quais se destaca a comparação entre o

corpo-de-prova adotado pela Norma Norte-Americana ASTM D 143- 94 (Revisada em 2000) e o adotado pela Norma Francesa (AFNOR B51-007-42 de 1985) (SALLENAVE, 1971).

Os corpos-de-prova da ASTM e da AFNOR são paralelepípedos retângulos, sendo o corpo-de-prova da ASTM de duas polegadas de secção transversal por oito polegadas de comprimento e o corpo-de-prova da AFNOR de dois centímetros na secção transversal e seis centímetros de comprimento. A metodologia do ensaio é, também, a mesma.

A resistência à compressão paralela às fibras, obtida para os corpos-de-prova ASTM e para os corpos-de-prova da AFNOR, ambas medidas em kgf/cm^2 , realizada com 22 (vinte e duas) espécies diferentes, desde as mais duras (no caso Azobé) às mais macias (Balsa), resultou nos valores médios :

$C_A / C_F = 1,04$, sendo as máximas e mínimas relações de 1,35 e 0,76, respectivamente.

Onde: C_A é o resultado obtido com o corpo-de-prova da ASTM e C_F com o corpo-de-prova da AFNOR.

3.3. A influência da umidade

Segundo a norma NBR 7190/97, o ensaio deve ser realizado com a madeira a 12% de umidade. São claros e amplamente conhecidos os efeitos que a variação da umidade exercem na resistência e na rigidez. De maneira geral, a bibliografia aponta para uma relação resistência-umidade na qual: para teores de umidade acima do ponto de saturação das fibras, a resistência e a rigidez se mantêm praticamente constantes; para teores de umidade abaixo deste ponto a resistência e a rigidez aumentam com o decréscimo do teor de umidade. Em geral, o comportamento dessa variação pode ser descrito através de uma exponencial muito suave, que pode ser associada, para intervalos limitados de umidade, a segmentos de retas.

Segundo Logsdon e Calil Júnior (2000), o modelo proposto para reportar as propriedades de resistência em função do teor da umidade referida, pela NBR 7190/97, é bastante razoável para a correção da resistência à compressão paralela às fibras; apesar disto o

coeficiente adotado pela norma é uma aproximação grosseira do valor médio encontrado e tal valor pode ser melhorado.

A norma brasileira para o projeto de estruturas de madeira foi alterada, abandonando-se o método determinístico das Tensões Admissíveis, e adotando-se o método probabilístico dos Estados Limites. Seguindo a tendência mundial, a atual norma brasileira estabelece teor de umidade de referência de 12%, para o qual devem ser reportados os resultados dos ensaios.

Difícilmente se conseguirá condicionar a madeira para o ensaio com um teor de umidade de exatamente 12%, portanto será necessário corrigir os resultados para este teor de umidade. A atual norma brasileira propõe expressões para fazer esta correção nas propriedades de resistência e de rigidez da madeira. Essas expressões, no entanto, são baseadas em poucos resultados de ensaios. De acordo com Logsdon e Calil Júnior (2000), os resultados mostram que o modelo se ajusta bem aos resultados experimentais, no entanto são ligeiramente diferentes dos coeficientes adotados pela norma quando testados em diferentes espécies de madeira. Dessa forma, pode-se concluir que a influência do teor de umidade sobre as propriedades de resistência e rigidez da madeira ainda não está estabelecida. Existe a necessidade de aferir esta influência utilizando-se a metodologia de ensaio atual e individualizando o estudo do comportamento com o uso de corpos-de-prova semelhantes.

Por outro lado, os resultados obtidos pelos autores precedentes mostram que se pode utilizar expressão semelhante àquela proposta pela NBR 7190/97, mas com coeficientes diferentes para cada propriedade de resistência ou de rigidez. Pode-se, portanto, concluir que a expressão utilizada para a influência do teor de umidade sobre as propriedades de resistência e de rigidez da madeira ainda não estão claramente estabelecidas. Existe a necessidade de aferir esta expressão individualizando o estudo do comportamento para madeira de diferentes espécies (ou classes de resistência) e para diferentes propriedades.

Neste trabalho a madeira foi sempre climatizada à aproximadamente 12% antes do ensaio, para que fosse minimizada a influência desse parâmetro, já que não era esse o objetivo do estudo. No entanto, para cada ensaio houve a medição da umidade real, utilizando-se de um medidor de umidade tripolar, de maneira a se tornar possível corrigir sua influência, caso se identificasse a necessidade.

3.4.O efeito de flambagem

De acordo com Prata (1982), o efeito introduzido pelo aumento do comprimento não restringido das barras axialmente compridas provoca a instabilização da barra, a partir de um certo limite. Timoshenko (1982), e Bodig e Jayne (1982) definiram esse efeito da seguinte maneira: “Para analisar problemas de barras carregadas em seu eixo é possível utilizar técnicas simples, como as equações de equilíbrio (de força e momentos) e da lei de Hooke. Quando um bloco de madeira é carregado, no qual os eixos ortotrópicos e geométricos coincidem, apenas um componente está presente. O problema surge da instabilidade do sistema de carregamento. Barras de madeira esbeltas, longas, são aquelas em que a razão entre o comprimento e a menor dimensão da seção transversal levam à perda de estabilidade em relação à compressão uniforme. Nesse caso, a flambagem ocorrerá antes da carga última de compressão afetando o cálculo da resistência”.

Estes deslocamentos laterais não podem ser confundidos com os efeitos de Poisson, os quais podem ser atribuídos a três fatores:

1. Não homogeneidade do material;
2. A coluna não ser perfeitamente reta;
3. A carga aplicada é excêntrica;

Segundo Santos et al. (1997), a nova Norma brasileira de Projeto de Estruturas de Madeira, NBR 7190/97 tornou difícil a determinação da resistência de cálculo de peças comprimidas, cujo índice de esbeltez exceda 40 ($\lambda > 40$) sendo:

$$\lambda = L_0/i, \text{ onde}$$

L_0 é o comprimento de flambagem;

i é o raio de giração da peça em relação ao eixo de flambagem analisado.

Para peças com essas características, a referida norma prevê a verificação de equações de interação, que procuram considerar a influência de excentricidades iniciais e

acidentais na aplicação do carregamento. Nos casos onde $\lambda > 80$ a Norma prevê, também, uma excentricidade suplementar devida à fluência da madeira.

Para que seja evitada a introdução da flambagem, o corpo-de-prova ensaiado deve ter, portanto, $\lambda < 40$. No caso desse trabalho, o corpo-de-prova sugerido, possui comprimento de 9 cm e raio de giração (i) de 0,87 sendo o índice de esbeltez, portanto, igual a 10,3, situando-se bem abaixo do limite, o que permite desprezar o efeito da flambagem durante o ensaio.

3.5 Outras influências importantes no ensaio de resistência da madeira à compressão paralela às fibras

3.5.1. Velocidade de ensaio

Segundo Bergt Norém, citado por Prata (1982), a madeira é definida como um material visco-elástico e, portanto, a velocidade de carregamento influi na resposta do material à sollicitação. O trabalho do autor teve, portanto, o objetivo de testar a madeira submetida a carregamentos com diferentes velocidades, tendo como resultado a apresentação da Equação 3.1, na qual os valores da tensão limite de resistência à compressão são apresentados em função do logaritmo da velocidade de deslocamento:

$$f_{wc} = 437 + 33,1 \log V \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde: f_{wc} é a tensão, em kgf/cm^2 ;

V é a velocidade de deslocamento, em mm/min .

A Norma Brasileira NBR 7190 define que o carregamento deve ser monotônico crescente, com uma taxa em torno de 10 MPa/min.

Tendo em vista que estudar o efeito da velocidade de carregamento no ensaio não é o objetivo desse trabalho, os ensaios serão realizados mantendo-se o carregamento proporcional ao indicado pela NBR 7190/97, ou seja 10MPa/min, de maneira a ser possível desprezar seu efeito nos resultados.

3.5.2. Forma de ruptura do corpo-de-prova

A Norma ASTM D 143-52 recomenda anotar as formas de ruptura, sendo as mesmas classificadas de acordo com o surgimento da superfície fraturada, conforme a Figura (3.1). No caso da existência de desenvolvimento de dois ou mais tipos de fraturas todas devem ser descritas na sua ordem de ocorrência.

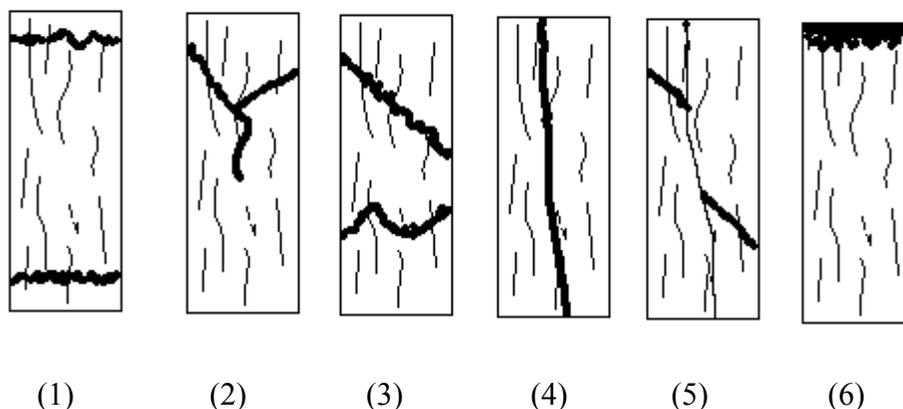


Figura (3.1) – Classificação dos tipos de ruptura em um ensaio de compressão paralela às fibras

- (1) Esmagamento: termo utilizado quando a ruptura é aproximadamente horizontal;
- (2) Fenda em cunha: a direção da fenda, se radial ou se tangencial, deve ser observada;
- (3) Cisalhamento: quando a plano de ruptura forma ângulo de 45° ou mais com o topo do corpo-de-prova;
- (4) Fendilhamento: ocorre geralmente em corpos-de-prova com defeitos internos e é motivo para exclusão do corpo-de-prova;
- (5) Fendilhamento e cisalhamento paralelo às fibras: usual em peças com fibras inclinadas e é eliminatório para o corpo-de-prova;
- (6) Fibrilação ou rolamento terminal: usualmente associado ao excesso de umidade nos extremos do corpo-de-prova, corte impróprio, ou ambos; não é aceitável e se relaciona a cargas pequenas – os ensaios devem ser reformulados quando esta ruptura ocorrer.

3.5.3. Dispositivos de ensaio de compressão paralela às fibras

Conforme Bodig e Jayne (1982), deve-se ter especial atenção na preparação dos corpos-de-prova para o ensaio de compressão paralela às fibras, de maneira a garantir que as bordas sejam paralelas entre si, e em ângulos retos com o eixo longitudinal. Pelo menos um dos pratos da prensa deve ser equipado com suporte esférico, para obter-se uma distribuição uniforme da carga sobre as extremidades do corpo-de-prova (Figura 3.2).

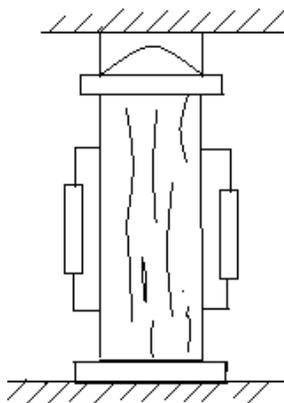


Figura (3.2) - Esquema do corpo-de-prova para o ensaio de compressão paralela.

Esses cuidados são fundamentais para a obtenção de resultados compatíveis e que não incorporem os efeitos de Poisson descritos no item 3.4. Dessa forma, no desenvolvimento dessa pesquisa os ensaios serão realizados levando-se em consideração os cuidados citados.

3.6 O uso do ultra-som na determinação de constantes elásticas de madeira

A avaliação não destrutiva é definida como sendo a parte da ciência de identificação de propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material, sem alterar suas capacidades de uso (Ross e Pollerin 1994). Os ensaios não destrutivos vêm despertando cada vez mais interesse mundial visto a sua praticidade, bem como devido à evolução dos dispositivos utilizados para a obtenção de respostas cada vez mais confiáveis. Muitas técnicas podem ser enquadradas como avaliação não destrutiva, desde a avaliação visual até os testes

químicos e o uso de técnicas de vibração, propagação de ondas, emissão acústicas, raio X etc. A avaliação visual é utilizada para indicar a qualidade através, por exemplo, da cor, da quantidade e da posição dos nós, manchas, furos, contaminação etc.

Tem-se relatado o emprego do ultra-som em avaliações da qualidade de peças industrializadas e também na determinação de propriedades físicas e mecânicas, seja em materiais homogêneos tais como aço, plástico e cerâmica, onde as avaliações não destrutivas têm sido utilizadas para detectar a presença de descontinuidade, vazios ou impurezas, bem como na madeira serrada, e em produtos à base de madeira ou ainda em árvores em pé, onde se avalia a qualidade (presença de nós, presença de ataques de microorganismos, direcionamento de fibras, etc.) ou se determinam aspectos ligados à rigidez e à resistência.

A praticidade aliada ao custo dos equipamentos de ultra-som, tem possibilitado o seu uso, notadamente na Europa, Canadá, bem como o suas aplicações iniciais no Brasil.

Paralelamente a isso, cresce o interesse mundial em torno de ensaios não destrutivos para determinação de propriedades físicas e mecânicas de toda sorte de materiais, o que se coaduna com a visão deste novo século, que será pautado pelos cuidados com a preservação ambiental.

Segundo Bartholomeu, 2001. "A hipótese fundamental de utilização de ensaios não-destrutivos na madeira foi elaborada por Jayne em 1959, citado por Ross e Pellerin (1994). Sua proposta foi a de que as propriedades de armazenamento e de dissipação de energia na utilização de métodos não destrutivos em determinado material são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento estático desse material. Como consequência, relações matemáticas entre essas propriedades e o comportamento estático, de rigidez e de resistência, podem ser alcançadas através da análise estatística de regressão.

O princípio básico de aplicação do ultra-som para a determinação de suas constantes elásticas consiste em medir a velocidade de propagação de uma onda de frequência acima de 20 kHz através de um corpo-de-prova. Conhecida essa velocidade e o peso específico do material calcula-se o módulo de elasticidade dinâmico.

Vários autores vêm estudando o método de ultra-som na determinação de constantes elásticas da madeira. Bucur (1984) além de propor a base teórica de utilização do ultra-som para a determinação de constantes elásticas da madeira, através de "carottes de sondage" (pequenos corpos-de-prova cilíndricos), citou Lee (1958), Burmester (1965) e Mc Donald

(1978), como pesquisadores que se utilizaram a velocidade de propagação da onda de ultra-som na madeira para determinação de constantes elásticas.

Waubke (1981), na Alemanha, foi o primeiro a obter resultados de classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som.

Valores dos módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos à compressão foram comparados por Chudnoff et al., citados por Herzig (1992), utilizando corpos-de-prova provenientes de postes de 26 espécies de madeira diferentes, entre coníferas e dicotiledôneas, com teor de umidade variando entre 35% e 95%. Na média, o módulo dinâmico foi 39,2% superior ao módulo estático para coníferas, e 57% superior para as dicotiledôneas, não se considerando as correções do coeficiente de Poisson.

Sandoz (1990) propôs, na Suíça, um método de classificação de peças estruturais de acordo com a Norma SIA 164, utilizando faixas de velocidade de ultra-som.

Bartholomeu et al. (1998) estudaram as correlações entre o módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos à compressão paralela as fibras em corpos-de-prova das espécies Angico-preto (*Anadenanthera macrocarpa*), Peroba-rosa (*Aspidosperma polineuron*) e Pinus elliottii (*Pinus elliottii*) na condição seca ao ar, utilizando equipamento de ultra-som não industrial operando na frequência de 1 MHz. O equipamento apresentado foi montado em laboratório pela equipe de pesquisadores e os resultados foram compatíveis áqueles obtidos por outros pesquisadores utilizando equipamentos industriais``

Essas citações demonstram que a técnica tem sido estudada por pesquisadores de todo o mundo e os resultados dessas pesquisas indicam sua eficiência e modernidade, devendo vir a ser utilizado de forma significativa no futuro.

3.7 – Fatores que afetam a propagação do ultra-som na madeira.

A madeira é um material biológico e ortotropico, possuidor de características físicas que tornam peculiar a propagação das ondas ultra-sônicas.

Utilizando a madeira como meio de propagação nas mais variadas situações, vários autores estudaram os efeitos de diferentes fatores nesta propagação. A seguir, serão citados os fatores mais significativos para o embasamento do presente trabalho.

3.7.1 – Teor de umidade

Da mesma forma que o teor de umidade afeta as propriedades mecânicas da madeira nos ensaios estáticos, ele o faz nas propriedades mecânicas obtidas por meio de ensaios dinâmicos.

A velocidade de propagação da onda ultra-sônica decresce consideravelmente com o aumento do teor de umidade do corpo-de-prova, até o ponto de saturação das fibras. A partir deste valor, a velocidade tende a se estabilizar tornando-se praticamente constante.

Sakai et al., citados por Bucur (1995), estudaram a variação da velocidade longitudinal do ultra-som em função de vários teores de umidade, em corpos-de-prova da espécie *Metasequoia glyptosboides*, originando a Figura (3.3). No mesmo trabalho os autores estudaram o efeito da umidade na atenuação da onda.

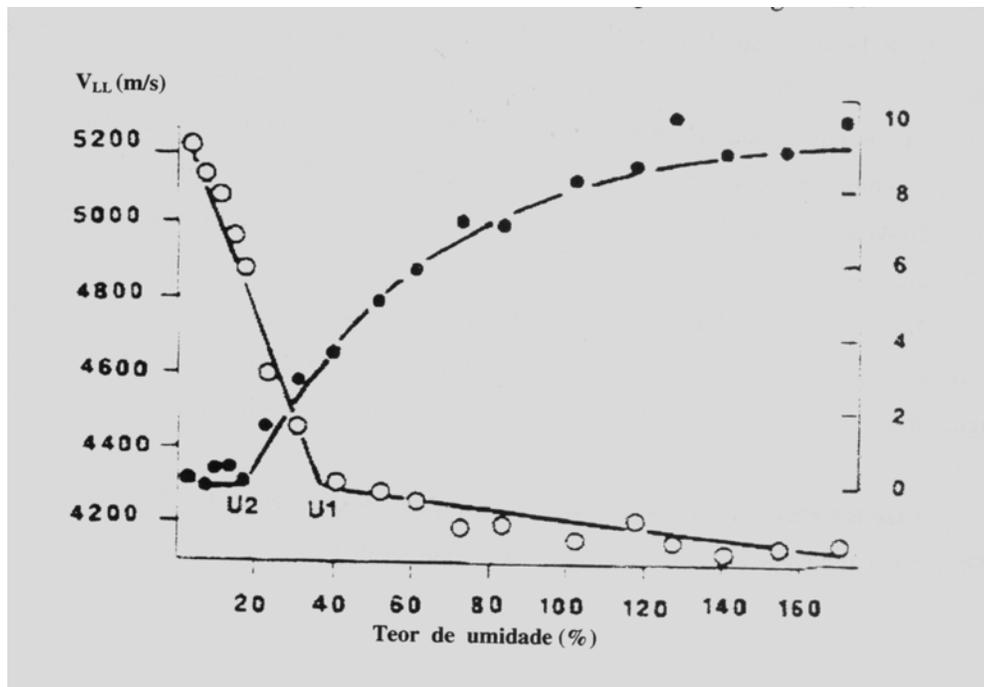


Figura (3.3) - Variação da velocidade longitudinal de ultra-som (m/s) em corpos-de-prova da espécie *Metasequoia*, em função do teor de umidade (Curva U1). Variação dos valores de atenuação das ondas ultra-sônicas (em dB), em função do teor de umidade (Curva U2) (Sakai et al., citado por Bucur, (1995) e adaptado por Bartholomeu, 2001.

Observando-se a Figura (3.3) nota-se claramente que, para a espécie adotada, a velocidade do ultra-som decai de maneira significativa com a umidade até o ponto de saturação das fibras (PSF) e que a partir do mesmo a variação se torna muito menor.

Observa-se, ainda, que a variação da atenuação é pequena até o ponto U2 (ponto onde as células começariam a reter água livre).

O ponto U2 estaria em 18%, aproximadamente, enquanto o ponto U1 estaria, aproximadamente, em 38%, para esta espécie.

Para o caso do trabalho ora apresentado os ensaios forão realizados com os corpos-de-prova com umidades inferiores a 13%.

Os autores explicam esse comportamento indicando que de 0% de umidade até o PSF, a água de impregnação presente confere baixa atenuação às ondas e não prejudica

substancialmente a transferência de energia ultra-sônica de célula à célula, conferindo à velocidade uma condição não perturbada.

3.7.2 – Dimensão da seção transversal e comprimento do corpo-de-prova ou da peça estrutural

Em virtude de a madeira constituir-se num material visco-elástico, o pulso ultra-sônico que se propaga em seu interior é decomposto em componentes de frequências, que se propagam em velocidade que lhe são próprias (Herzig 1992).

As equações gerais apresentadas nos estudo sobre propagação de ondas em meios sólidos partem do princípio ideal de que o comprimento da onda é muito superior às dimensões da secção transversal do corpo pelo qual essa onda atravessa.

Segundo Bartholomeu (2001), na prática, quando não se tem a situação ideal, tais princípios deverão ser aplicados em peças de madeira de seção comercial fazendo-se uma aproximação da teoria.

Bucur (1984) estudou a variação da velocidade de propagação da onda de ultra-som, em função da variação da secção transversal, em corpos-de-prova de *Sapin Douglas* (*Abies alba*). No início do ensaio a amostra apresentava $L = 30$ cm, $b = 10$ cm, $h = 10$ cm e ao final do experimento $L = 30$ cm, $b = 10$ cm, $h = 0.7$ cm .Os resultados obtidos estão ilustrados na figura (3.4)

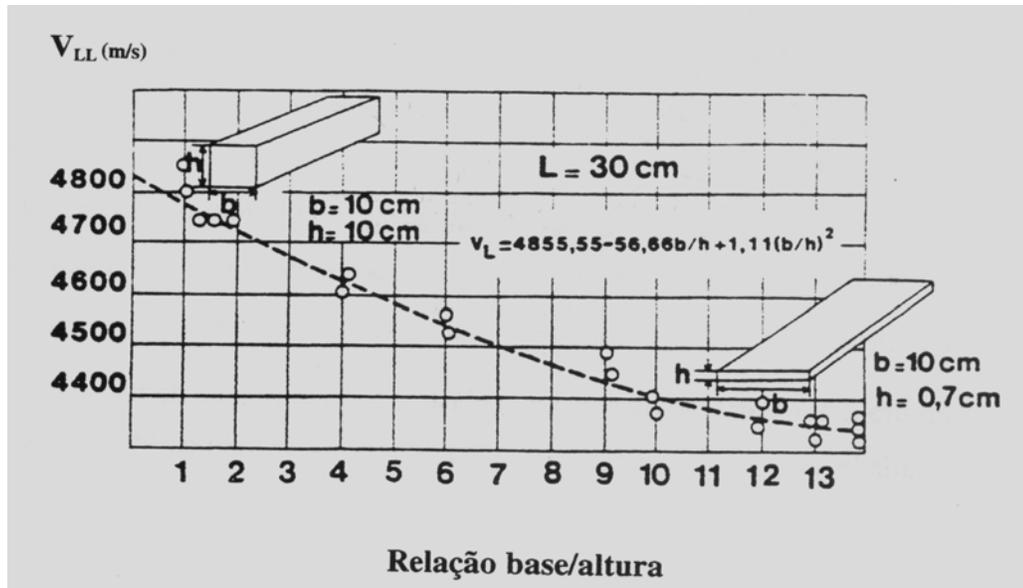


Figura (3.4) - Variação da velocidade de propagação (m/s) de ondas longitudinais em função da relação base / altura em corpos-de-prova de *Sapin Douglas* (Bucur, 1984, adaptado por Bartholomeu, 2001).

Através da curva apresentada observa-se, na velocidade, uma diferença de 12% entre a relação $b/h=1$ e a relação $b/h=14$.

No caso deste trabalho a relação adotada não difere da relação da NBR 7190/97, ou seja, $b/h = 3/3 = 1$ (nova proposta) e $b/h = 5/5 = 1$ (NBR 7190).

Um segundo fator preponderante na variação da velocidade longitudinal é a relação L/λ , onde:

L = comprimento do corpo-de-prova;

λ = comprimento de onda.

O comprimento de onda é dado por:

$$\lambda = V / f$$

onde V = velocidade de propagação da onda de ultra som;

f = freqüência da onda de ultra-som.

Burcur 1984) analisou a variação de velocidade de ondas longitudinais em função da relação L / λ , em corpos-de-prova de Hêtre (*Fagus sylvatica*), obtendo os resultados apresentados na Figura (3.5).

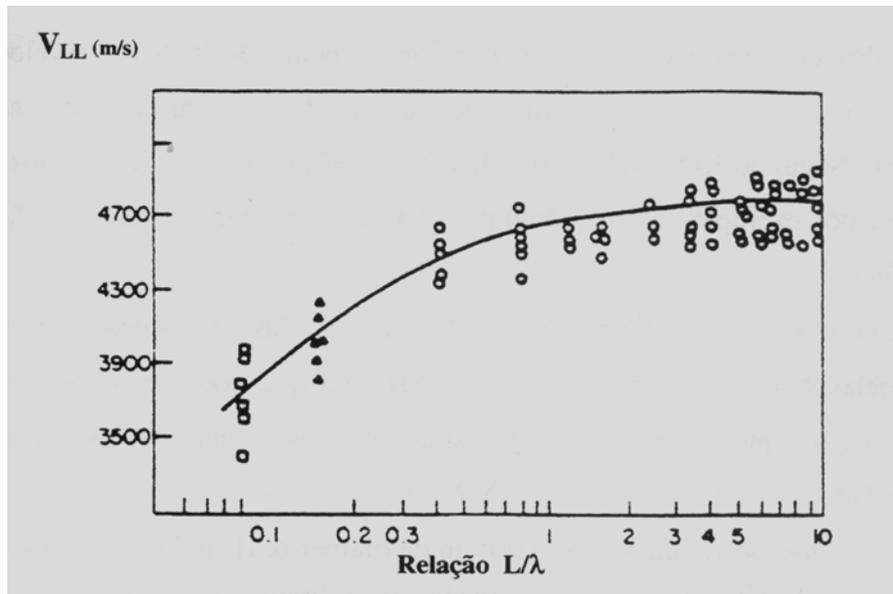


Figura (3.5) - Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de Hêtre (Bucur, 1984, adaptado por Bartholomeu, 2001).

Pela figura (3.5) nota-se que a taxa mais acentuada de variação da velocidade longitudinal ocorre entre as relações $L / \lambda = 0,1$ e $L / \lambda = 1$, ou seja uma variação de aproximadamente 30%, enquanto que as relações $L / \lambda = 1$ e $L / \lambda = 10$ a variação fica em 2,6%. A autora indica, ainda, que o comprimento de onda não pode ser menor que a dimensão da maior estrutura anatômica do material.

Bartholomeu et al (2003) estudaram a dispersão das ondas de ultra-som em função da geometria das peças de madeira. Para isso realizaram dois tipos de avaliação da propagação da onda. Primeiramente ensaiaram tábuas de eucalipto nas quais mantinham a seção e variaram o comprimento e depois, mantendo o comprimento e variando a seção. As tábuas de eucalipto foram escolhidas de maneira a possuírem, na seção transversal, anéis de crescimento bem posicionados na direção radial e tangencial. As peças estavam com umidade de aproximadamente 12% e tinham comprimento inicial de 2 m e seção transversal variando de (0,05 m x 0,07 m) a (0,05 m x 0,14 m). Dois tipos de onda foram avaliados – de superfície e de compressão – ambas na direção longitudinal. As medições foram feitas com equipamento de ultra-som marca Steinkamp. Modelo BP, com transdutores de 45 kHz de face plana. Para

facilitar o entendimento do fenômeno de dispersão da onda, a variação da velocidade foi expressa em função da relação: distância de propagação da onda (d) versus comprimento de onda (λ). Segundo os autores, a velocidade de propagação da onda de superfície depende do plano de polarização e, geralmente, a polarização no plano LR produz velocidade mais alta do que no plano LT. Os autores concluíram que para $d/\lambda > 5$ as ondas de superfície se transformam em ondas de compressão com mesma velocidade de propagação, além de representar intervalo no qual a velocidade de propagação da onda deixa de ser afetada pelo comprimento de percurso. Sendo assim, para relações d/λ acima desse valores tanto ondas de superfície como de compressão podem ser utilizadas para a avaliação do material. Além disso, os autores concluíram que é recomendado que a seção transversal tenha relação R/T maior do que 0,3 de V_{LL} e que 0,75 de V_{TT} uma vez que nessa faixa as velocidades de propagação se tornam constantes.

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados transdutores de diferentes frequências, o que levou a comprimentos de onda diferentes e, portanto, relações L / λ diferentes, o que permitiu a verificação da variação da velocidade de propagação da onda e a indicação do transdutor mais adequado.

3.7.3. Frequência

A influência da frequência na propagação de ondas de ultra-som em peças de madeira é dependente, sobretudo, das dimensões dos corpos-de-prova.

Alguns autores estudaram os efeitos das variações da frequência, chegando a resultados aparentemente contraditórios.

Herzig (1992) ensaiou corpos-de-prova de seção transversal de 0,025 m x 0,025 m e comprimento de 0,005 m; 0,01 m; 0,025 m; 0,05 m; 0,075 m e 0,100 m da espécie *Epinette (Picea sp)*. Para o desenvolvimento do trabalho utilizou frequências de 1MHz e 5 MHz, em ondas longitudinais. Seus resultados demonstraram que, até um comprimento de 0,05m, a velocidade aumenta com o aumento da frequência, confirmando o fato de a madeira se constituir de um material visco-elástico. Segundo Kolsky, apud Herzig (1992), no caso de

sólido visco-elástico – a madeira, por exemplo, as frequências elevadas se propagam mais rapidamente que as baixas frequências.

Ensaando “*carottes de sondage*” de 0,005 m de diâmetro, Herzig (1992) verificou que a velocidade aumenta com o aumento da frequência.

Bucur (1984) estudou a variação da velocidade de propagação do ultra-som em “*carottes de sondage*” da espécie Hêtre, de 0,005 m de diâmetro, utilizando as frequências de 80 kHz e 2 MHz. Os resultados encontrados pela autora mostram que houve um aumento da velocidade longitudinal decorrente do aumento da frequência. Para 80 kHz, a velocidade foi de 4150m/s e à 2 MHz, foi de 4665 m/s, constituindo-se num aumento de 12%.

Nesta Pesquisa os corpos-de-prova foram ensaiados inicialmente utilizando-se transdutores de frequência 45 kHz. Numa segunda fase, ampliando o estudo, as peças de madeira foram ensaiadas, também, com transdutores de 80 kHz. Em uma terceira fase se ensaiou também com transdutores de 25 kHz, 100 kHz, 500 kHz e 1 MHz.

3.7.4 – Acoplante

O acoplante é uma substância líquida ou pastosa, que tem por finalidade “complementar” o caminho entre o transdutor e a peça favorecer a transmissão das ondas ultra-sônicas, não deixando ar que é uma barreira a propagação das ondas entre os meios. A escolha do acoplante depende das condições superficiais da peça e do tipo de material que está sendo ensaiado (Bucur 1995).

Numa superfície com bom acabamento, basta uma camada de um óleo fino. Em superfícies com rugosidade excessiva é necessário o uso de um acoplante mais viscoso, podendo até ser necessária a utilização de gel ou graxa.

Os acoplantes típicos são: água, óleo em geral, gel, graxa, vaselina líquida e em pasta ou uma mistura das duas, metilcelulose (não indicada para metais ferrosos) e etc.

É importante que se verifique a compatibilidade entre o acoplante e o material a ser ensaiado. No ensaio por imersão, a água é o acoplante. Portanto, quando forem ensaiadas peças de material ferroso, se deve adicionar à água, aditivos para evitar corrosão da peça em ensaio além de anti-espumante e bactericida.

No caso dos ensaios a serem realizados nesse trabalho se utilizará gel medicinal, que já tem sido utilizado em outras pesquisas do grupo de trabalho de ensaios de ultra-som na madeira, com bons resultados.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. - Material e Equipamentos:

4.1.1-Material

A adoção das espécies foi feita visando a obtenção de dados em faixa ampla de densidades (Tabela 2.1) e estruturas anatômicas, de maneira a tornar o experimento mais representativo, garantindo a correta verificação da hipótese do trabalho e possibilitando a generalização dos resultados. Além disso, essas espécies têm sido utilizadas na fabricação de móveis, tanto na estrutura quanto em elementos aparentes.

As espécies adotadas nos ensaios foram:

a. Amburana cearensis Fr. Allem

Nomes populares: Cerejeira, imburana-de-cheiro, cumaru-de cheiro, umburana, angelim.

b. Paratecoma peroba (Record.) Kuhl.

Nomes populares: ipê-peroba, ipê-claro, ipê-rajado, peroba-amarela, peroba-de-campos, peroba-branca, peroba-tremida, perobinha.

c. Myroxylon peruiferum L.f.

Nomes populares: Cabreúva-vermelha, bálsamo (M.G., M.S), pau-de-incenso (A.M.), carboeira-vermelha (P.R.), caborina, pau-de-bálsamo (P.R.), pau-vermelho, pua, bálsamo-carboriba, óleo-cabreúva (S.P.), sangue-de-gato, quina-quina.

d. *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenae

Nomes populares: angico-preto, angico, angico-preto-rajado, anjico-rajado, guarapiraca e na Argentina como cebil colorado.

e. *Apulleia leiocarpa* (Vog.) Macbr.

Nomes populares: garapa, grapiapunha, muirajuba, barajuba, muiratá, amarelinho, gema-de-ovo, grápia, jataí-amarelo.

f. *Pinus elliottii*

Nome popular: Pinus

g. *Eucalyptus grandis*

Nome popular: Eucalipto Grandis

Tabela 4.1.- Tabela de densidade em função da umidade

| Espécie | Densidade Aparente (NBR7190/97) kg/ m ³ | Umidade % | Densidade Aparente nas Amostras kg/m ³ | Umidade % |
|-------------------|---|--------------|--|--------------|
| Pinus elliottii | 560 | 12 | 500 | 12 |
| Cerejeira | 600 | 12 | 600 | 12 |
| Eucalipto grandis | 640 | 12 | 460 | 12 |
| Perobinha | 730 | 12 | 700 | 12 |
| Garapeira | 830 | 12 | 840 | 12 |
| Cabreúva-vermelha | 950 | 12 | 1000 | 12 |
| Angico-preto | 1050 | 12 | 1080 | 12 |

Para a espécie Cerejeira foram ensaiados 59 corpos-de-prova de secção nominal 0,05 x 0,05 m e comprimento de 0,15 m e 84 de secção nominal de 0,03 x 0,03 m e comprimento de 0,09 m.

Para a espécie Perobinha foram ensaiados 60 corpos-de-prova de secção nominal 0,05 x 0,05 m e comprimento de 0,15 m e 54 de secção nominal de 0,03 x 0,03 m e comprimento de 0,09 m.

Para a espécie Cabreúva vermelha foram ensaiados 60 corpos-de-prova de secção nominal 0,05 x 0,05 m e comprimento de 0,15 m e 60 de secção nominal de 0,03 x 0,03 m e comprimento de 0,09 m.

Para a espécie Angico foram ensaiados 97 corpos-de-prova de secção nominal 0,05 x 0,05 m e comprimento de 0,15 m e 118 de secção nominal de 0,03 x 0,03 m e comprimento de 0,09 m.

Para a espécie Garapeira foram ensaiados 66 corpos-de-prova de secção nominal 0,05 x 0,05 m e comprimento de 0,15 m e 69 de secção nominal de 0,03 x 0,03 m e comprimento de 0,09 m.

Para a espécie Pinus foram ensaiados 55 corpos-de-prova de secção nominal 0,05 x 0,05 m e comprimento de 0,15 m e 106 de secção nominal de 0,03 x 0,03 m e comprimento de 0,09 m

Para a espécie Eucalipto foram ensaiados 87 corpos-de-prova de secção nominal 0,05 x 0,05 m e comprimento de 0,15 m e 166 de secção nominal de 0,03 x 0,03 m e comprimento de 0,09 m.



Figura (4.1) - Câmara climática, com controle de temperatura e umidade (Laboratório de Ensaios do SENAI de Itatiba).

De forma geral buscou-se retirar uma quantidade superior a 60 corpos-de-prova de cada espécie, em cada uma das dimensões, de maneira a permitir que se houvesse aproveitamento médio final, após descartes por problemas visualmente identificados e rupturas excludentes, de aproximadamente 40 corpos de prova.

A Figura 4.2 mostra corpos-de-prova das espécies pinus e eucalipto, confeccionados para os ensaios com as dimensões especificadas, dispostas para a avaliação visual do tipo de ruptura, após os ensaios de compressão paralela às fibras.



Figura (4.2) - Corpos-de-prova de Pinus e Eucalypto para avaliação visual depois do ensaio de compressão paralela às fibra.

4.1.2 Equipamentos

Para a realização dos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Máquina Universal de Ensaio DL 30000 da marca Emic-Dcame (Figura 4.3). Esse equipamento tem certificado de calibração RBC 25/08/03 certificado 510/03. Escalas de calibração 20 kgf; 200 kgf; 1000 kgf / tração e compressão; kgf / compressão (Conforme procedimento ABNT NBR 6156/83).

- Extensômetro: EE01 - extensômetro eletrônico para medição de pequenas deformações em corpos-de-prova rígidos, distância da base de medida 0,025 m, máxima deformação mensurável 0,0125 m, para montagem direta sobre o corpo-de-prova. Resolução de 0,00001 m. Montados com prolongadores de 0,05 m e 0,1 m.



Figura (4.3) - Máquina de ensaio (Laboratório de Ensaios do SENAI de Itatiba).

Balança Modelo AS 2000C; marca Marte com menor divisão de 0,01 g e carga mínima de 0,5 g e máxima de 2000 g sensibilidade de 0,01 g, reprodutibilidade de 0,01 g, campo de tara de 2000 g; operação em temperatura ambiente;

- Câmara Climática Modelo MA-835 da empresa Marconi; com controle de temperatura $\pm 2^{\circ}\text{C}$ e controle de Umidade de $\pm 5\%$, controlada por Programa de Rampas e Patamares (Figura 4.1).

- Estufa Química. Modelo Q 317B- 22; com controlador tipo hidráulico com bulbo capital em aço inoxidável; precisão de controle em $\pm 5^{\circ}\text{C}$; circulação interna do ar através de convecção natural do ar.

- Paquímetro analógico com escala de 0 a 0,154 m com subdivisão décimo de mm da marca Digimess.

- Transdutores de onda longitudinal e frequências de 25 kHz, 45 kHz, 80 kHz, 100 kHz, 500 kHz e 1 MHz com faces planas.

- Equipamento de ultra-som Steinkamp Ultrasonic Tester BP5 (Figura 4.4)

- Equipamento de ultra-som EPOCH4 da Panametrics-NDT (Figura 4.5)

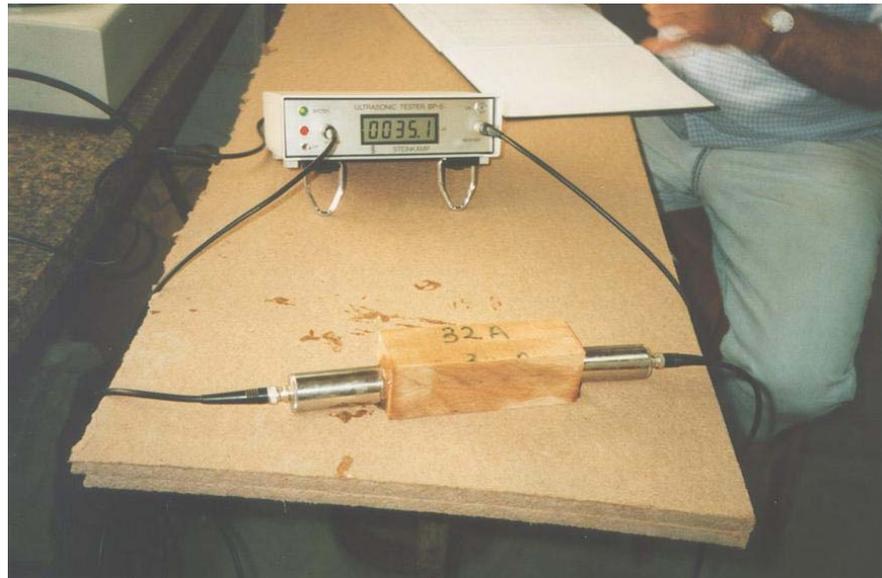


Figura (4.4) - Equipamento Steinkamp Ultrasonic Tester BP5 acoplado com transdutor (equipamento de propriedade do Professor André Bartholomeu)



Figura (4.5) - Equipamento EPOCH da Panametrics-NDT acoplado a transdutor de face plana e frequência de 100 kHz - Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP

- Medidor de umidade superficial de três pólos; marca TCS modelo 75 (Figura 4.6).
- Célula de carga TR 29.

Os ensaios foram realizados utilizando-se as recomendações contidas nas seguintes Normas:

- Compressão paralela às fibras, segundo a norma NBR 7190/97 item B8.
- Teste de umidade, conforme a norma NBR 7190/97 item B5.
- Classificação dos tipos de ruptura, conforme a norma ASTM D 143-94.



Figura (4.6) - Medidor de umidade superficial de três pólos; marca TCS modelo 75 E.

4.2. Métodos

4.2.1 Aquisição das peças madeira para a retirada dos corpos-de-prova

A madeira foi adquirida na cidade de Itatiba/ SP, tomando-se o cuidado para que as mesmas apresentassem as seguintes condições mínimas:

- Seca naturalmente, ou seja, não submetidas a processo de estufagem, para evitar que estas não tenham sofrido qualquer processo de stress.
- Procedência certificada.
- Espessura que comportasse a elaboração do corpo-de-prova em sua maior dimensão.

4.2.2 Preparo das amostras para os ensaios

Os corpos-de-prova destinadas à realização dos ensaios preliminares (cerejeira) foram retirados, aos pares, de uma única prancha. Após discussão e avaliação estatística dos

resultados preliminares, com o Professor Luis Ernesto Brossard Peres, Professor Visitante que na ocasião atuava na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, os corpos-de-prova passaram a ser retirados, aos pares (0,03 m x 0,03 m x 0,09m e 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m), de diferentes pranchas e vigas, conforme esquema de corte apresentado na Figura 4.7 .

Amostragem

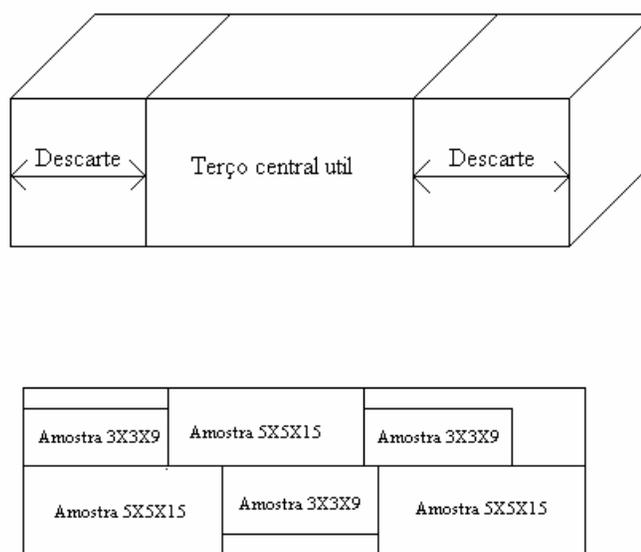


Figura (4.7) - Esquema de corte dos corpos-de-prova

Nesta etapa, cada corpo-de-prova foi identificado com uma numeração apropriada de maneira a permitir a rastreabilidade.

Para a retirada dos corpos-de-prova das pranchas e vigas foi utilizada uma serra com rotação 5500 rpm, com objetivo de não provocar ``queima`` na superfície do corpo-de-prova e a conseqüente deterioração da superfície da amostra durante o processo de manufatura. A Figura 4.8, ilustra a operação de corte do terço externo na composição dos corpos-de-prova.



Figura (4.8) - Ilustração do corte de um terço para composição do corpo-de-prova

Antes da realização dos ensaios os corpos-de-prova foram climatizados à aproximadamente 12% de umidade em câmara climática (com controle de umidade e temperatura), conforme estabelecido pela norma 7190/97.

Além disso, o teor de umidade foi medido imediatamente antes do ensaio, fazendo-se uso de medidor de umidade superficial de três pólos (Figura 4.8), o qual foi previamente aferido. Para a aferição do medidor de umidade foi elaborada a curva de calibração utilizando-se o ensaio de determinação de umidade da norma 7190/97. O resultado dessa calibração indicou desvio padrão de $\pm 0,3\%$ na faixa de trabalho desejada, ou seja, 12%.

Os corpos-de-prova para o ensaio passaram por medições de comprimento e seção transversal, utilizando-se paquímetro e pesagem.

4.2.3 Seleção dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram identificados visualmente observando-se aspectos como: rachaduras, trincas, nós, manchas, furos e a presença de falhas de processamento (lascas). Essa identificação seguiu a seguinte nomenclatura: Esse resultado pode estar relacionado com a

maior possibilidade de erro durante a execução do ensaio mecânico citamos, como exemplo, o posicionamento do extensômetro, centralização da peça, etc.

- 1 – presença de mancha de podridão;
- 2 – presença de furo promovido por inseto ou material estranho;
- 3 – presença de mancha diferente da cor normal;
- 4 – presença de rachadura;
- 5 – presença de nó.

Essa identificação permitiu acompanhar os ensaios realizados em corpos-de-prova isentos de defeitos e defeituosos e foi de extrema importância para os ensaios não-destrutivos.

Após a identificação da qualidade dos corpos-de-prova, estes foram submetidos a ensaio utilizando equipamento de ultra-som.

4.2.3- Ensaio de ultra-som

Na primeira fase (ensaio das espécies cerejeira, perobinha, cabreúva-vermelha, angico preto) se utilizou um transdutor de 45 kHz. Em uma segunda fase (ensaio da garapeira), por sugestão da Banca do Exame de Qualificação, utilizaram transdutores de 45 kHz e 80 kHz de frequência. Em uma terceira fase (ensaio do Pinus e do Eucalipto grandis) utilizaram transdutores de 25 kHz, 45 kHz, 80 kHz e 500 kHz e ainda 1 MHz. Esses transdutores só puderam ser utilizados na terceira fase por apenas estarem disponíveis após a finalização dos ensaios destrutivos das outras espécies. Em todas as fases os transdutores utilizados eram de onda de compressão e apresentaram faces planas.

Com o ensaio de ultra-som foram determinadas a velocidade de propagação da onda (V_{LL}) e a constante dinâmica, ambas na direção longitudinal (C_{LL}). Os ensaios foram realizados no Laboratório Físico da Madeira, da Escola SENAI de Itatiba com equipamentos e acoplante já descritos. Para a determinação da velocidade de propagação da onda na direção longitudinal (V_{LL}) os transdutores foram posicionados nas faces do corpo-de-prova de maneira que a propagação ocorresse na direção longitudinal (Figura 4.5). Os ensaios foram sempre realizados com uso do acoplante entre o transdutor e o corpo-de-prova. De posse do tempo de

propagação da onda (medido pelo equipamento) e do comprimento de percurso (comprimento do corpo-de-prova), se determinava a velocidade de propagação utilizando-se a expressão V (m/s) = comprimento de percurso (m)/tempo de propagação (μ s).

Para a determinação da constante dinâmica (C_{LL}) foi utilizada a equação 4.1

$$C_{LL} = \rho V^2 \cdot 10^{-3} \text{ (kN/cm}^2\text{)} \quad \text{Equação 4.1}$$

onde:

ρ = peso específico a aproximadamente 12% de umidade em kg/m^3

V = velocidade de propagação da onda em m/s

4.2.4 Ensaio de Compressão Paralela às Fibras

O ensaio de compressão paralela às fibras foi realizado para determinação do módulo de elasticidade e da resistência à compressão paralela. Os ensaios foram realizados no Laboratório Físico da Madeira, da Escola SENAI de Itatiba, seguindo-se a metodologia da NBR 7190/97, item B8.

Para o ensaio, o extensômetro foi instalado no corpo-de-prova com auxílio de anéis de borracha. Cuidado especial foi tomado para a centralização do corpo-de-prova, fator este que interfere consideravelmente sobre o resultado da ruptura. Com objetivo de melhorar o alinhamento do corpo-de-prova, de acordo com o proposto por Bodig & Jayme (1982), o equipamento dispunha-se rótula entre o atuador e o corpo-de-prova.

-Após o ensaio, o corpo-de-prova foi avaliado quanto ao modo de ruptura, seguindo classificação dos tipos de ruptura da norma ASTM D 143-52: 1978 (revisada em 2000). As observações pertinentes foram anotadas seguindo a denominação previamente descrita na norma.

As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam os ensaios de compressão paralela em corpo-de-prova de 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m e 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m, respectivamente.

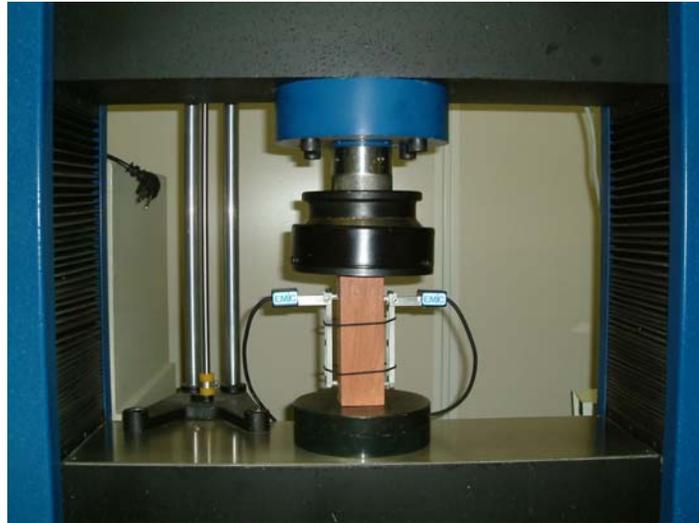


Figura (4.9) - Ensaio de compressão paralela às fibras em corpo-de-prova de dimensões nominais 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m (Laboratório de Ensaio de Materiais do SENAI - Itatiba).

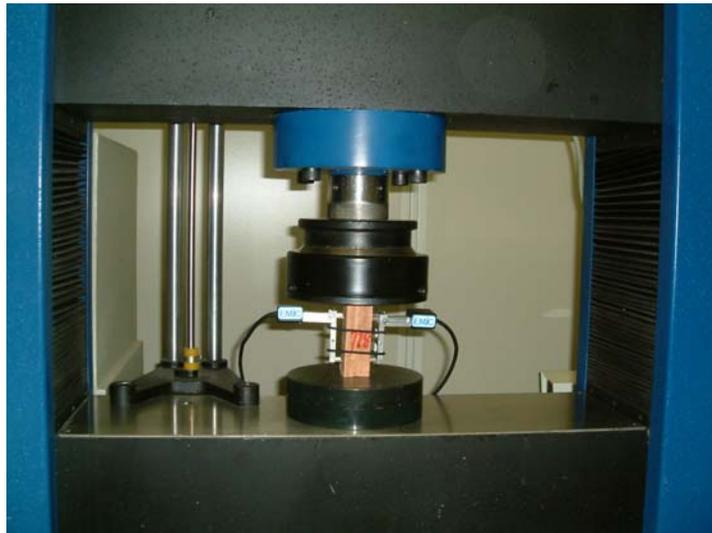


Figura (4.10) - Ensaio de compressão paralela às fibras em corpo-de-prova de dimensões nominais 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m (Laboratório de Ensaio de Materiais do SENAI Itatiba)

Todos os ensaios, de ultra-som e de compressão paralela, foram realizados em ambiente com temperatura controlada (21 +/- 1 °C).

4.3 - Análise dos Resultados

Os resultados de resistência e módulo de Elasticidade à compressão paralela em corpos-de-prova de 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m (NBR 7190/97) e 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m (dimensão proposta nesse trabalho) foram comparados estatisticamente utilizando o programa Statgraphics Plus 4.1.

No caso do ensaio com ultra-som, os valores de velocidade de propagação da onda e da constante elástica, obtidos nos corpos-de-prova de 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m e 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m , foram comparados entre si utilizando o mesmo procedimento estatístico descrito para o caso do módulo de elasticidade e da resistência. Por último, determinou-se a interferência do comprimento de onda e da frequência do transdutor na velocidade de propagação da onda na direção longitudinal.

Para análise dos resultados de resistência e de módulo de elasticidade as equações 4.2 e 4.3 foram utilizadas para a correção da resistência e da rigidez, respectivamente, de maneira que todos os valores estivessem na condição padrão de referência de umidade (12%), conforme item 6.2 da NBR 7190/1997 .

$$f_{12} = f_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde:

f_{12} = A resistência corrigida

$f_{u\%}$ = A resistência obtida no ensaio

$U\%$ = A umidade obtida durante o ensaio

$$E_{12} = E_{u\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

E_{12} = A rigidez corrigida

$E_{u\%}$ = A rigidez obtida no ensaio

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 5.1 a 5.14 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras realizados segundo a metodologia proposta no Capítulo 4, com as 7 espécies estudadas nesse trabalho e com os dois tamanhos de corpo-de-prova (0,03 m x 0,03 m x 0,09 m e 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m).

Tendo em vista que a grande quantidade de dados dificulta a visualização do comportamento dos resultados gerais, as Tabelas 5.15 e 5.16 apresentam um resumo geral das médias e da variabilidade dos resultados. No caso dessas tabelas optou-se pela apresentação dos resultados sub-divididos em duas categorias – os obtidos considerando apenas os corpos-de-prova isentos de defeitos e os obtidos considerando todos os corpos-de-prova ensaiados.

Observando-se os valores contidos na Tabela 5.15 (considerando somente os corpos-de-prova isentos de defeitos) verifica-se que, em média, a relação entre o módulo de elasticidade obtido com o corpo-de-prova 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m e 0,03 x 0,03 x 0,09 cm foi de 1,10, sendo as máximas e mínimas relações de 1,40 e 0,93 respectivamente. Em relação aos resultados de compressão paralela a relação média foi de 1,02 e as máximas e mínimas de 1,10 e 0,98 respectivamente. Quando se compara esse resultado com a referência contida no item 3.2 do Capítulo 2 relativa a estudo semelhante realizado entre resultados de ensaio com corpo-de-prova da ASTM (corpo-de-prova de 0,0508 x 0,0508 x 0,2032 m) e da AFNOR (corpo-de-prova de 0,02 x 0,02 x 0,06 m), realizada com 22 (vinte e duas) espécies diferentes, e cuja relação obtida foi $C_{ASTM} / C_{AFNOR} = 1,04$, sendo as máximas e mínimas relações de 1,35 e 0,76 respectivamente verifica-se que as relações obtidas foram da mesma ordem de grandeza. Além disso, verifica-se que, em ambos estudos, as variações não são sempre no mesmo sentido, ou seja, ora os resultados são maiores para o corpo-de-prova menor e ora maiores para o corpo-de-prova maior, o que pode significar, no geral, a inexistência de variação estatisticamente significativa.

De maneira geral a variabilidade dos resultados, representada pelo Coeficiente de Variação (CV) se manteve dentro do esperado (menores que 18%), exceto para o módulo de elasticidade do eucalipto garapeira, no modelo 0,03 x 0,03 x 0,09 m, e no para resistência e módulo do pinus. Observa-se ainda que, de maneira geral, a variabilidade dos ensaios nos corpos de prova de 0,05 x 0,05 m foi menor do que dos corpos-de-prova de 0,03 x 0,03 m.

Considerando todos os corpos-de-prova (Tabela 5.16) a média da relação entre o módulo de elasticidade obtido com o corpo-de-prova 0,05 x 0,05 x 0,15 m e 0,03 x 0,03 x 0,09m foi de 1,07, sendo as máximas e mínimas relações de 1,29 e 0,80 respectivamente. Em relação aos resultados de compressão paralela a relação média foi de 1,01 e as máximas e mínimas de 1,10 e 0,95 respectivamente.

De maneira geral a variabilidade dos resultados foram superiores quando se considerou todos os corpos-de-prova, o que já era esperado já que não há pré-seleção de peças para o ensaio. Para os ensaios nos corpos-de-prova de 0,03 x 0,03 m, quando se consideram todos os corpos-de-prova, a variabilidade média (todas as espécies estudadas) foi 6% maior para o módulo de elasticidade e 1,9% maior para a tensão de ruptura. Para os ensaios nos corpos de prova de 0,05 x 0,05 m esses valores foram de 24,7% e 17,8% para o módulo e tensão de ruptura respectivamente, indicando portanto variações bem superiores. Neste caso, as variações podem ser explicadas pela maior propensão de defeitos internos ao corpo-de-prova.

As Tabelas 5.17 e 5.18 resumem os resultados da análise estatística realizada para verificar se os resultados dos ensaios (módulo e tensão de ruptura) obtidos em corpos-de-prova de 0,03 x 0,03 x 0,09 m são estatisticamente iguais aos obtidos em corpos-de-prova de 0,05 x 0,05 x 0,15 m. Para realizar essa análise o Programa Estatístico Statgraphics avalia a diferença de médias decompondo a variância em duas componentes: entre grupos e dentro do grupo e calcula o parâmetro F que é a relação entre a variância entre grupos e a variância dentro do grupo. Se o parâmetro Pvalue do teste F é maior ou igual a 0,01 considera-se que não há diferença estatística entre as médias com 99% de confiança.

Os resultados apresentados na tabela 5.17 (corpos-de-prova isentos de defeito) demonstram que, para a tensão de ruptura, não houve diferença estatística entre os resultados obtidos nos corpos-de-prova de 0,03 x 0,03 e 0,05 x 0,05 para nenhuma das espécies. No caso

do módulo de elasticidade os resultados não podem ser considerados iguais para duas das sete espécies avaliadas (garapeira e eucalipto).

Quando se consideram todos os corpos-de-prova (Tabela 5.18) os resultados de resistência também são estatisticamente iguais para todas as espécies, mas quanto ao módulo o angico-preto, a garapeira e o pinus apresentam diferenças estatísticas de resultados.

Tabela 5.1 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cerejeira 0,03 x 0,03 x 0,09 m

| Cp | densidade kg/m3 | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 610 | 51,5 | 10678 | 3 |
| 2 | 604 | 54,5 | 12082 | 3 |
| 3 | 582 | 58,2 | 11424 | 3 |
| 4 | 602 | 44,8 | 10514 | 2 |
| 5 | 598 | 55,8 | 12141 | 5 |
| 6 | 566 | 55,4 | 10781 | 3 |
| 7 | 591 | 60,6 | 11632 | 3 |
| 8 | 566 | 54,2 | 11375 | 3 |
| 9 | 613 | 57,1 | 9745 | 3 |
| 10 | 596 | 58,4 | 9716 | 3 |
| 11 | 599 | 57,8 | 10655 | 3 |
| 12 | 599 | 60,0 | 10533 | 3 |
| 13 | 572 | 59,5 | 12651 | 3 |
| 14 | 601 | 58,7 | 10782 | 3 |
| 15 | 590 | 58,1 | 10951 | 3 |
| 16 | 610 | 52,8 | 12880 | 3 |
| 17 | 587 | 58,0 | 11283 | 2 |
| 18 | 605 | 51,8 | 12033 | 3 |
| 19 | 655 | 50,0 | 12428 | 1 |
| 20 | 649 | 61,9 | 13019 | 3 |
| 21 | 622 | 64,9 | 11548 | 3 |
| 22 | 636 | 58,7 | 15405 | 3 |
| 23 | 627 | 48,4 | 14747 | 3 |
| 24 | 620 | 44,2 | 11105 | 3 |
| 25 | 617 | 43,7 | 11947 | 3 |
| 26 | 603 | 46,9 | 12978 | 3 |
| 27 | 630 | 56,5 | 11780 | 3 |
| 28 | 612 | 62,8 | 11188 | 3 |
| 29 | 612 | 64,5 | 10909 | 3 |
| 30 | 522 | 43,5 | 8010 | 3 |
| 31 | 619 | 50,5 | 12037 | 3 |
| 32 | 624 | 50,0 | 12006 | 3 |
| 33 | 615 | 62,4 | 11410 | 3 |
| 34 | 631 | 52,2 | 16058 | 3 |
| 35 | 642 | 60,5 | 14335 | 3 |
| 36 | 616 | 52,8 | 13412 | 3 |
| 37 | 623 | 54,0 | 14987 | 3 |
| 38 | 661 | 59,4 | 13773 | 3 |
| 39 | 633 | 50,8 | 13277 | 3 |
| 40 | 639 | 57,1 | 12308 | 3 |
| 41 | 626 | 54,2 | 13286 | 3 |
| 42 | 607 | 53,8 | 11915 | 3 |

| | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|
| 43 | 628 | 55,9 | 12918 | 3 |
| 44 | 657 | 53,7 | 14924 | 3 |
| 45 | 527 | 43,0 | 8295 | 3 |
| 46 | 616 | 45,6 | 11292 | 3 |
| 47 | 643 | 69,8 | 13745 | 3 |
| 48 | 606 | 52,4 | 14899 | 3 |
| 49 | 533 | 46,1 | 8804 | 3 |
| 50 | 614 | 51,6 | 12209 | 3 |
| 51 | 608 | 53,8 | 13458 | 3 |
| 52 | 624 | 54,2 | 14673 | 3 |
| 53 | 619 | 63,0 | 11965 | 2 |
| 54 | 536 | 44,9 | 8600 | 3 |
| 55 | 623 | 64,5 | 11935 | 3 |
| 56 | 636 | 60,3 | 13889 | 3 |
| 57 | 604 | 61,6 | 11647 | 3 |
| 58 | 653 | 49,2 | 13866 | 3 |
| 59 | 618 | 56,0 | 13434 | 2 |
| 60 | 626 | 40,7 | 8918 | 3 |
| 61 | 617 | 66,5 | 11955 | 2 |
| 62 | 614 | 63,8 | 11331 | 3 |
| 63 | 642 | 55,0 | 12035 | 3 |
| 64 | 608 | 54,9 | 15782 | 3 |
| 65 | 626 | 67,4 | 11663 | 3 |
| 66 | 531 | 45,1 | 8136 | 3 |
| 67 | 679 | 57,3 | 14459 | 3 |
| 68 | 609 | 63,5 | 11238 | 3 |
| 69 | 612 | 55,9 | 18877 | 3 |
| 70 | 608 | 50,9 | 12562 | 3 |
| 71 | 645 | 58,1 | 13180 | 3 |
| 72 | 596 | 52,7 | 10519 | 3 |
| 73 | 596 | 63,8 | 12476 | 3 |
| 74 | 648 | 56,2 | 12915 | 3 |
| 75 | 627 | 56,7 | 12657 | 3 |
| 76 | 616 | 53,0 | 13338 | 3 |
| 77 | 613 | 50,3 | 9636 | 3 |
| 78 | 594 | 52,1 | 12367 | 3 |
| 79 | 698 | 40,3 | 6809 | 3 |
| 80 | 624 | 49,8 | 12388 | 3 |
| 81 | 617 | 56,2 | 15883 | 3 |
| 82 | 610 | 63,2 | 11358 | 2 |
| 83 | 615 | 53,3 | 13410 | 3 |
| 84 | 630 | 67,1 | 12221 | 3 |
| média | 613 | 55 | 12171 | |

Tabela 5.2 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cerejeira 0,05 x 0,05 x 0,15 m

| Cp | densidade kg/m3 | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 3 | 562 | 51,6 | 11049 | 3 |
| 4 | 575 | 49,1 | 9791 | 1 |
| 5 | 560 | 52,0 | 9612 | 2 |
| 6 | 568 | 53,8 | 9622 | 2 |
| 7 | 554 | 50,9 | 9119 | 2 |
| 8 | 559 | 51,7 | 8586 | 2 |
| 9 | 562 | 54,3 | 10319 | 3 |
| 10 | 559 | 50,5 | 9375 | 2+3 |
| 11 | 563 | 53,9 | 9592 | 3 |
| 12 | 553 | 49,3 | 8948 | 2 |
| 13 | 549 | 52,0 | * | 3 |
| 14 | 566 | 53,4 | * | 3 |
| 15 | 553 | 51,1 | * | 3 |
| 16 | 572 | 50,6 | 12908 | 3 |
| 17 | 574 | 44,7 | 8714 | 3 |
| 18 | 585 | 37,6 | 8498 | 3 |
| 19 | 556 | 49,9 | 8501 | 2 |
| 20 | 569 | 44,0 | 10840 | 3+4 |
| 21 | 588 | 37,3 | 7717 | 3 |
| 22 | 570 | 55,9 | 10507 | 4+2 |
| 23 | 562 | 52,9 | 10891 | 3 |
| 24 | 549 | 51,3 | 8851 | 3 |
| 25 | 567 | 46,1 | 9860 | 3 |
| 28 | 583 | 55,9 | 10584 | 2 |
| 29 | 564 | 50,8 | 9993 | 3 |
| 30 | 612 | 54,3 | 11279 | 3 |
| 31 | 594 | 50,8 | 11185 | 2 |
| 32 | 637 | 48,3 | 10849 | 5 |
| 33 | 724 | 46,2 | 8551 | 3 |
| 34 | 575 | 36,2 | 8321 | 3 |
| 35 | 601 | 54,3 | 9891 | 3 |
| 36 | 581 | 53,4 | 10097 | 3 |
| 37 | 576 | 36,6 | 7724 | 3 |
| 38 | 588 | 50,9 | 9764 | 3 |
| 39 | 574 | 43,1 | 8966 | 5 |
| 40 | 583 | 42,2 | 9168 | 2 |
| 41 | 607 | 57,1 | 10593 | 2 |
| 42 | 596 | 56,0 | 9890 | 2 |
| 43 | 571 | 55,6 | 10759 | 2 |
| 44 | 616 | 53,7 | 9986 | 3 |
| 45 | 571 | 54,0 | 11958 | 1 |
| 46 | 573 | 42,6 | 8401 | 3 |
| 47 | 609 | 55,8 | 10845 | 3+4 |

| | | | | |
|--------------|------------|-----------|-------------|---|
| 48 | 619 | 50,9 | 11467 | 3 |
| 49 | 592 | 56,9 | 10363 | 2 |
| 50 | 571 | 42,1 | 9044 | 5 |
| 51 | 600 | 52,8 | 10120 | 3 |
| 52 | 586 | 54,6 | 11336 | 3 |
| 53 | 599 | 57,6 | 10221 | 3 |
| 54 | 559 | 52,8 | 11028 | 3 |
| 55 | 568 | 54,5 | * | 3 |
| 56 | 584 | 55,0 | 11417 | 3 |
| 57 | 573 | 55,1 | 10211 | 3 |
| 58 | 579 | 52,7 | * | 3 |
| 59 | 574 | 43,4 | 8589 | 3 |
| média | 580 | 50 | 9918 | |

* indica que o módulo de elasticidade não foi detectado pela máquina de ensaio.

Tabela 5.3 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Perobinha 0,03 x 0,03 x 0,09 m

| Cp | densidade kg/m3 | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de Ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 691 | 62,2 | 14145 | 3 | |
| 2 | 653 | 58,1 | 13409 | 2 | |
| 3 | 708 | 58,8 | 15157 | 3 | 02. |
| 4 | 702 | 61,9 | 13261 | 3 | |
| 5 | 654 | 56,7 | 13362 | 3 | |
| 6 | 676 | 58,5 | 13604 | 3 | |
| 7 | 765 | 65,6 | 13152 | 3 | |
| 8 | 690 | 57,1 | 13657 | 3 | |
| 9 | 676 | 60,1 | 13724 | 3 | |
| 10 | 678 | 59,4 | 13564 | 3 | |
| 11 | 702 | 57,6 | 13501 | 3 | |
| 12 | 650 | 59,3 | 15371 | 3 | |
| 13 | 668 | 60,7 | 18390 | 3 | |
| 14 | 683 | 59,6 | 12890 | 3 | |
| 15 | 725 | 60,6 | 12740 | 3 | |
| 16 | 684 | 60,0 | 13568 | 3 | 02. |
| 17 | 698 | 58,0 | 14804 | 3 | |
| 18 | 670 | 60,6 | 13310 | 3 | |
| 19 | 665 | 59,2 | 14161 | 3 | |
| 20 | 679 | 60,9 | 13882 | 3 | 04. |
| 21 | 680 | 62,2 | 13851 | 3 | 05. |
| 22 | 697 | 61,5 | 13896 | 3 | |
| 23 | 663 | 60,9 | 13238 | 5 | 04. |
| 24 | 666 | 59,5 | 14563 | 2 | |
| 25 | 690 | 56,4 | 13238 | 3 | |
| 26 | 699 | 51,1 | 11191 | 4 | |
| 27 | 690 | 59,7 | 12088 | 3 | |
| 28 | 659 | 58,6 | 13821 | 3 | |
| 29 | 671 | 60,1 | 16923 | 3 | |
| 30 | 679 | 58,6 | 13895 | 2 | |
| 31 | 686 | 59,0 | 13895 | 3 | |
| 32 | 669 | 61,2 | 13466 | 3 | |
| 33 | 726 | 60,8 | * | 3 | |
| 35 | 665 | 55,3 | 12742 | 2 | 02. |
| 36 | 692 | 57,0 | 13087 | 3 | |
| 37 | 650 | 60,3 | 14228 | 4 | 04. |
| 38 | 793 | 67,9 | * | 2 | |
| 39 | 665 | 60,6 | 12703 | 3 | |
| 40 | 694 | 60,0 | 13426 | 3 | |
| 41 | 652 | 58,3 | 12876 | 3 | |
| 42 | 716 | 57,0 | 13554 | 5 | 05;04 |
| 43 | 680 | 57,5 | 14711 | 3 | |
| 44 | 739 | 65,5 | 14141 | 3 | |
| 45 | 677 | 61,1 | 13505 | 2 | |
| 46 | 734 | 57,3 | 13074 | 2 | |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|-----|
| 47 | 675 | 61,1 | 12885 | 3 | |
| 48 | 654 | 59,7 | 14127 | 3 | |
| 49 | 674 | 57,3 | 13075 | 3 | |
| 50 | 680 | 59,5 | 15162 | 3 | |
| 51 | 649 | 60,3 | 12837 | 3 | |
| 52 | 720 | 65,0 | 14861 | 3 | |
| 53 | 660 | 57,9 | 12952 | 3 | 05. |
| 54 | 681 | 58,2 | 12967 | 3 | |
| média | 686 | 59 | 13737 | | |

* indica que o módulo de elasticidade não foi detectado pela máquina de ensaio.

Tabela 5.4 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Perobinha 0,05 x 0,05 x 0,15 m

| Cp | densidade kg/m³ | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 731 | 65,0 | 13156 | 2 | |
| 2 | 777 | 66,8 | 15887 | 3 | 1;2;3 |
| 3 | 636 | 49,2 | 10833 | 2 | |
| 4 | 676 | 60,7 | 18886 | 2 | 2;2 |
| 5 | 767 | 67,3 | 14125 | 2 | |
| 6 | 809 | 64,2 | 13748 | 5 | 1 |
| 7 | 669 | 57,3 | 10720 | 2 | 03;01 |
| 9 | 653 | 54,6 | 10739 | 2 | |
| 10 | 735 | 64,8 | 13213 | 3 | |
| 11 | 767 | 67,4 | 15110 | 2 | |
| 12 | 661 | 57,9 | 13034 | 3 | |
| 13 | 657 | 56,5 | 11110 | 2 | |
| 14 | 724 | 61,7 | 12226 | 2 | |
| 15 | 631 | 46,1 | 9505 | 5 | 5 |
| 16 | 654 | 52,2 | 11401 | 2 | |
| 17 | 731 | 60,0 | 13953 | 4 | 03;01 |
| 18 | 659 | 60,7 | 18886 | 3 | 3;5 |
| 19 | 756 | 66,9 | 13770 | 2 | |
| 20 | 740 | 67,3 | 14134 | 2 | |
| 21 | 712 | 64,3 | 13044 | 3 | |
| 23 | 660 | 59,8 | 15284 | 5 | 03;01;05 |
| 24 | 832 | 65,7 | 12271 | 4 | 02;03;05 |
| 25 | 664 | 56,8 | 12780 | 3 | |
| 26 | 768 | 68,8 | 14016 | 3 | |
| 27 | 661 | 59,5 | 13452 | 3 | |
| 28 | 663 | 61,4 | 13576 | 3 | |
| 29 | 700 | 63,1 | 13919 | 3 | |
| 30 | 657 | 54,9 | 11274 | 2 | |
| 31 | 713 | 59,8 | 12073 | 5 | |
| 32 | 389 | 49,2 | 10525 | 2 | |
| 33 | 748 | 59,3 | 12383 | 2 | |
| 34 | 654 | 58,2 | 14305 | 3 | 1 |
| 35 | 706 | 61,3 | 12672 | 2 | |
| 36 | 656 | 54,1 | 11307 | 3 | |
| 37 | 728 | 63,7 | 13044 | 2 | |
| 38 | 697 | 60,7 | 13440 | 5 | 5 |
| 39 | 646 | 49,7 | 10746 | 2 | |
| 40 | 670 | 58,2 | 14364 | 2 | |
| 41 | 692 | 61,3 | 12534 | 3 | |
| 42 | 699 | 64,1 | 13314 | 3 | |
| 43 | 702 | 65,6 | 14355 | 3 | |
| 44 | 640 | 46,3 | 10917 | 5 | 02;05;01 |
| 45 | 799 | 70,1 | 15227 | 3 | 02;05 |
| 46 | 777 | 65,1 | 15497 | 4 | 05;04 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|-------|
| 47 | 679 | 60,4 | 14015 | 3 | 5 |
| 49 | 659 | 52,6 | 13743 | 5 | 01;05 |
| 50 | 658 | 61,1 | 13931 | 3 | |
| 51 | 731 | 62,9 | 13347 | 2 | |
| 52 | 646 | 52,2 | 10690 | 3 | |
| 53 | 720 | 59,0 | 12642 | 3 | |
| 54 | 646 | 54,1 | 10973 | 3 | |
| 55 | 773 | 69,0 | 14901 | 3 | |
| 56 | 680 | 59,6 | 12955 | 3 | |
| 57 | 663 | 60,0 | 13169 | 3 | 02;02 |
| 58 | 744 | 59,9 | 13169 | 3 | |
| 59 | 690 | 59,7 | 13118 | 3 | |
| 60 | 787 | 59,9 | 13161 | 5 | |
| média | 697 | 59 | 13167 | | |

Tabela 5.5 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Angico-preto 0,03 x 0,03 x 0,09 m

| Cp | densidade kg/m³ | fc₀ Mpa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 11 | 1012 | 82,4 | 18850 | 2 | 0 |
| 21 | 1031 | 84,7 | 21619 | 3 | 0 |
| 31 | 1031 | 84,7 | 20082 | 3 | 0 |
| 41 | 1035 | 82,4 | 22514 | 3 | 0 |
| 51 | 1024 | 80,1 | 20507 | 3 | 0 |
| 61 | 1010 | 78,0 | 20105 | 3 | 2+4 |
| 71 | 1024 | 77,9 | 21507 | 1 | 1 |
| 81 | 1038 | 83,6 | 22163 | 3 | 0 |
| 91 | 1024 | 84,6 | 20846 | 1 | 0 |
| 102 | 1057 | 79,7 | 18525 | 3 | 4 |
| 112 | 1075 | 77,7 | 18283 | 1 | 0 |
| 122 | 1040 | 72,8 | 16923 | 1 | 2+4 |
| 132 | 1049 | 74,7 | 18973 | 1 | 0 |
| 142 | 1065 | 70,6 | 21424 | 1 | 0 |
| 152 | 1053 | 73,5 | 19158 | 3 | 0 |
| 172 | 1079 | 76,4 | 19010 | 3 | 0 |
| 182 | 1044 | 74,2 | 19284 | 1 | 2+4 |
| 193 | 956 | 69,2 | 17471 | 3 | 0 |
| 203 | 1024 | 74,0 | 18767 | 3 | 0 |
| 223 | 954 | 70,1 | 20582 | 1 | 2+4 |
| 233 | 1012 | 80,7 | 18133 | 2 | 2+4 |
| 243 | 915 | 75,9 | 19583 | 1 | 0 |
| 263 | 902 | 78,8 | 18875 | 1 | 0 |
| 273 | 923 | 74,3 | 17230 | 1 | 0 |
| 294 | 887 | 66,5 | 19689 | 5 | 2+4 |
| 304 | 859 | 72,0 | 18045 | 1 | 0 |
| 314 | 871 | 71,9 | 20582 | 1 | 2+4 |
| 324 | 903 | 72,8 | 14993 | 3 | 0 |
| 334 | 879 | 69,1 | 20960 | 1 | 2+4 |
| 344 | 933 | 75,8 | 18134 | 1 | 0 |
| 354 | 993 | 79,9 | 16345 | 5 | 0 |
| 364 | 1000 | 83,0 | 19380 | 1 | 0 |
| 375 | 833 | 53,5 | 15845 | 2 | 5 |
| 385 | 924 | 50,3 | 13581 | 2 | 3+4 |
| 395 | 859 | 45,4 | 13097 | 2 | 3+4 |
| 405 | 834 | 56,8 | 16339 | 3 | 0 |
| 415 | 816 | 55,0 | 13471 | 3 | 0 |
| 425 | 909 | 57,7 | 15331 | 3 | 2+4 |
| 435 | 859 | 57,6 | 17080 | 3 | 0 |
| 445 | 850 | 52,6 | 13879 | 4 | 0 |
| 455 | 918 | 56,7 | 14340 | 3 | 0 |

| | | | | | |
|-------|------|------|-------|---|-----|
| 466 | 1073 | 82,7 | 17188 | 3 | 0 |
| 476 | 1060 | 82,8 | 22014 | 1 | 0 |
| 486 | 1060 | 79,5 | 18748 | 1 | 0 |
| 506 | 1064 | 81,9 | 17484 | 1 | 2+4 |
| 527 | 1016 | 67,8 | 16177 | 1 | 0 |
| 537 | 1017 | 75,3 | 14387 | 1 | 0 |
| 547 | 963 | 70,0 | 13592 | 1 | 0 |
| 557 | 989 | 70,9 | 13638 | 3 | 2+4 |
| 567 | 983 | 70,2 | 13788 | 2 | 0 |
| 577 | 1005 | 75,3 | 13741 | 2 | 0 |
| 587 | 1006 | 72,6 | 14173 | 1 | 0 |
| 607 | 966 | 54,3 | 13792 | 4 | 2+4 |
| 628 | 789 | 72,1 | 17707 | 5 | 4 |
| 638 | 720 | 71,9 | 17685 | 5 | 3 |
| 658 | 968 | 71,7 | 17611 | 5 | 4 |
| 668 | 967 | 71,4 | 17564 | 5 | 4 |
| 678 | 963 | 72,1 | 17702 | 1 | 0 |
| 688 | 965 | 71,9 | 17682 | 1 | 0 |
| 698 | 1222 | 71,7 | 17613 | 1 | 0 |
| 708 | 1227 | 71,4 | 17570 | 5 | 2+4 |
| 718 | 1214 | 71,2 | 17483 | 5 | 2+4 |
| 728 | 1204 | 71,1 | 17430 | 1 | 5 |
| 738 | 1218 | 71,0 | 17383 | 1 | 0 |
| 748 | 997 | 70,8 | 17311 | 5 | 5 |
| 758 | 962 | 70,6 | 17226 | 3 | 0 |
| 768 | 965 | 70,4 | 17162 | 1 | 0 |
| 778 | 982 | 70,2 | 17138 | 5 | 4 |
| 7810 | 926 | 70,1 | 17118 | 1 | 2+4 |
| 7910 | 1093 | 70,0 | 17121 | 1 | 0 |
| 8211 | 1004 | 70,0 | 17089 | 1 | 0 |
| 8311 | 906 | 69,9 | 17013 | 1 | 4 |
| 8411 | 895 | 69,9 | 16975 | 4 | 4 |
| 8511 | 933 | 69,8 | 16940 | 5 | 4 |
| 8611 | 1010 | 69,7 | 16898 | 1 | 0 |
| 8711 | 940 | 69,7 | 16888 | 3 | 2+4 |
| 8811 | 1011 | 69,6 | 16855 | 2 | 0 |
| 8911 | 900 | 69,6 | 16821 | 3 | 4 |
| 9011 | 914 | 69,4 | 16798 | 1 | 0 |
| 9112 | 1007 | 69,3 | 16749 | 1 | 2+4 |
| 9212 | 1056 | 69,1 | 16712 | 1 | 0 |
| 9312 | 1058 | 69,0 | 16703 | 3 | 0 |
| 9412 | 1048 | 69,1 | 16650 | 1 | 0 |
| 9512 | 1095 | 69,0 | 16626 | 1 | 5 |
| 9612 | 1058 | 69,0 | 16557 | 1 | 0 |
| 9712 | 1074 | 68,9 | 16584 | 1 | 0 |
| 9812 | 1061 | 68,9 | 16507 | 1 | 0 |
| 10113 | 954 | 68,8 | 16479 | 1 | 2 |
| 10213 | 948 | 68,6 | 16481 | 1 | 0 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|-----|
| 10313 | 826 | 68,4 | 16430 | 1 | 0 |
| 10413 | 927 | 68,6 | 16440 | 1 | 0 |
| 10513 | 930 | 68,9 | 16491 | 1 | 0 |
| 10713 | 839 | 69,3 | 16550 | 3 | 0 |
| 10814 | 902 | 69,6 | 16554 | 1 | 0 |
| 10914 | 888 | 69,8 | 16608 | 1 | 0 |
| 11014 | 880 | 70,0 | 16630 | 2 | 0 |
| 11115 | 1093 | 70,3 | 16622 | 5 | 4 |
| 11215 | 1057 | 70,6 | 16671 | 1 | 2+4 |
| 11315 | 1073 | 70,8 | 16711 | 3 | 2+4 |
| 11415 | 1071 | 70,6 | 16703 | 5 | 3+4 |
| 11515 | 1089 | 70,4 | 16610 | 3 | 5 |
| 11616 | 965 | 70,2 | 16572 | 1 | 0 |
| 11716 | 976 | 70,0 | 16556 | 3 | 0 |
| 11816 | 950 | 70,1 | 16563 | 3 | 0 |
| média | 985 | 71 | 17347 | | |

Tabela 5.6 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Angico-preto 0,05 x 0,05 x 0,15 m

| Cp | densidade kg/m3 | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|
| 11 | 954 | 67,8 | 19273 | 4 | 4 |
| 21 | 967 | 78,3 | 19836 | 2 | 4 |
| 31 | 919 | 77,7 | 20140 | 5 | 4 |
| 41 | 976 | 87,0 | 21186 | 2 | 4 |
| 52 | 1036 | 70,7 | 20370 | 3 | 0 |
| 62 | 1063 | 71,2 | 21369 | 2 | 0 |
| 72 | 1022 | 67,6 | 17799 | 3 | 0 |
| 82 | 1031 | 72,1 | 16512 | 3 | 0 |
| 92 | 1050 | 72,5 | 22401 | 3 | 0 |
| 102 | 1063 | 77,8 | 19974 | 3 | 4 |
| 112 | 1025 | 74,0 | 18516 | 2 | 0 |
| 122 | 1041 | 75,7 | 22060 | 3 | 0 |
| 133 | 927 | 79,9 | 20820 | 3 | 0 |
| 143 | 1024 | 79,5 | 17621 | 5 | 4 |
| 153 | 911 | 71,8 | 17572 | 3 | 2 |
| 163 | 925 | 72,8 | 18019 | 3 | 0 |
| 173 | 906 | 70,5 | 17528 | 3 | 0 |
| 183 | 1026 | 77,8 | 17277 | 5 | 4 |
| 193 | 1008 | 78,0 | 19095 | 5 | 4 |
| 214 | 924 | 48,4 | 7760 | 5 | 1,4,5 |
| 224 | 950 | 60,3 | 12959 | 5 | 1,4 |
| 234 | 958 | 42,6 | 4129 | 4 | 1,4,3 |
| 244 | 952 | 55,9 | 11210 | 5 | 4,5 |
| 254 | 935 | 75,1 | 18476 | 2 | 4 |
| 264 | 957 | 60,5 | 11090 | 3 | 0 |
| 295 | 934 | 45,8 | 12125 | 5 | 4 |
| 305 | 917 | 40,9 | 8169 | 5 | 4,5 |
| 315 | 869 | 55,7 | 15416 | 3 | 1,5 |
| 325 | 861 | 52,5 | 16467 | 3 | 4,5 |
| 335 | 1006 | 76,4 | 21562 | 5 | 4 |
| 345 | 824 | 55,6 | 15022 | 3 | 0 |
| 355 | 918 | 56,3 | 13172 | 5 | 4,5 |
| 365 | 907 | 59,9 | 15930 | 3 | 5 |
| 376 | 1065 | 77,9 | 24234 | 3 | 0 |
| 386 | 1049 | 85,0 | 17707 | 3 | 4 |
| 416 | 1059 | 85,4 | 21796 | 3 | 4 |
| 426 | 1067 | 75,7 | 20721 | 3 | 0 |
| 436 | 1085 | 70,6 | 15072 | 3 | 5,2,4 |
| 446 | 1056 | 77,0 | 18748 | 3 | 0 |
| 457 | 1015 | 71,6 | 14078 | 4 | 4 |
| 467 | 1014 | 80,1 | 14274 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|------|------|------|-------|---|---------|
| 477 | 985 | 74,6 | 12590 | 4 | 4 |
| 487 | 988 | 78,0 | 14532 | 3 | 0 |
| 497 | 1019 | 80,4 | 15806 | 3 | 0 |
| 507 | 987 | 73,4 | 13677 | 5 | 2+4 |
| 517 | 1022 | 71,9 | 15674 | 5 | 0 |
| 527 | 1012 | 70,4 | 16421 | 1 | 0 |
| 537 | 1035 | 76,3 | 17733 | 5 | 0 |
| 547 | 1019 | 76,0 | 14921 | 4 | 4 |
| 557 | 1020 | 77,0 | 14284 | 1 | 0 |
| 567 | 1010 | 75,5 | 14409 | 4 | 0 |
| 577 | 1004 | 79,9 | 14961 | 3 | 2+4 |
| 587 | 1000 | 74,7 | 14766 | 3 | 0 |
| 598 | 832 | 70,6 | 16552 | 2 | 0 |
| 608 | 910 | 70,6 | 16501 | 4 | 4,1 |
| 618 | 825 | 70,5 | 16438 | 2 | 0 |
| 628 | 964 | 70,3 | 16368 | 3 | 4 |
| 638 | 978 | 70,6 | 16546 | 5 | 4 |
| 648 | 942 | 70,6 | 16498 | 1 | 0 |
| 658 | 978 | 70,5 | 16440 | 4 | 4 |
| 668 | 932 | 70,3 | 16375 | 3 | 4 |
| 678 | 825 | 70,1 | 16290 | 2 | 0 |
| 688 | 940 | 70,0 | 16219 | 3 | 0 |
| 698 | 949 | 70,0 | 16128 | 3 | 0 |
| 7010 | 1006 | 70,1 | 16099 | 1 | 3 |
| 7110 | 988 | 70,0 | 16092 | 1 | 0 |
| 7211 | 1028 | 70,0 | 15981 | 5 | 4 |
| 7311 | 1166 | 69,9 | 15911 | 2 | 4,5 |
| 7411 | 1083 | 69,8 | 15865 | 3 | 1,5 |
| 7511 | 1117 | 69,7 | 15757 | 1 | 5,4,1 |
| 7611 | 939 | 69,5 | 15668 | 2 | 4 |
| 7711 | 1001 | 69,3 | 15633 | 2 | 0 |
| 7811 | 977 | 69,3 | 15599 | 2 | 4 |
| 7911 | 891 | 69,2 | 15557 | 3 | 4 |
| 8012 | 1120 | 69,2 | 15522 | 5 | 5,1,4,2 |
| 8012 | 1151 | 69,0 | 15492 | 5 | 4 |
| 8213 | 991 | 68,9 | 15428 | 3 | 0 |
| 8413 | 953 | 69,2 | 15563 | 1 | 0 |
| 8513 | 954 | 69,4 | 15609 | 3 | 2,3 |
| 8614 | 948 | 69,9 | 15810 | 1 | 4 |
| 8614 | 961 | 70,1 | 15891 | 2 | 0 |
| 8814 | 937 | 70,0 | 15845 | 5 | 5 |
| 8914 | 836 | 70,2 | 15929 | 1 | 5 |
| 9019 | 941 | 70,6 | 15995 | 1 | 3 |
| 9119 | 955 | 71,1 | 16133 | 1 | 4 |
| 9220 | 1055 | 71,4 | 16145 | 3 | 5 |
| 9320 | 1066 | 71,7 | 16140 | 3 | 5 |
| 9420 | 1049 | 71,7 | 16045 | 3 | 5 |
| 9520 | 1062 | 71,9 | 16063 | 1 | 5 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|-----|
| 9620 | 1073 | 72,2 | 16113 | 3 | 5,2 |
| 9720 | 1081 | 72,4 | 16116 | 2 | 5 |
| média | 986 | 71 | 16325 | | |

Tabela 5.7 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cabreúva-vermelha 0,03 x 0,03 x 0,09 m

| Cp | densidade kg/m3 | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 974 | 83,9 | 18065 | 4 | |
| 3 | 975 | 85,7 | 19797 | 3 | |
| 4 | 1008 | 87,7 | 21009 | 4 | |
| 5 | 994 | 85,1 | 19656 | 3 | |
| 6 | 973 | 86,4 | 19930 | 3 | |
| 7 | 991 | 71,2 | 14571 | 3 | |
| 8 | 993 | 79,1 | 16672 | 1 | |
| 9 | 1014 | 73,6 | 18741 | 2 | |
| 10 | 979 | 71,8 | 14578 | 1 | |
| 11 | 947 | 78,1 | 16769 | 2 | |
| 12 | 963 | 83,9 | 18159 | 2 | |
| 13 | 960 | 82,5 | 19336 | 3 | |
| 14 | 954 | 79,7 | 16781 | 3 | |
| 15 | 980 | 84,0 | 16831 | 3 | |
| 16 | 979 | 75,0 | 16662 | 2 | |
| 17 | 990 | 78,2 | 14225 | 4 | |
| 18 | 1002 | 85,9 | 18256 | 3 | |
| 19 | 1007 | 84,3 | 17340 | 3 | |
| 20 | 984 | 85,8 | 17761 | 3 | |
| 21 | 976 | 89,1 | 18757 | 3 | |
| 22 | 951 | 79,8 | 17081 | 3 | |
| 23 | 986 | 90,1 | 18154 | 3 | |
| 24 | 995 | 70,3 | 14577 | 5 | 5 |
| 25 | 996 | 86,4 | 19675 | 3 | |
| 26 | 986 | 82,9 | 17209 | 3 | |
| 27 | 999 | 81,3 | 18593 | 3 | |
| 28 | 1013 | 84,7 | 19675 | 3 | |
| 29 | 967 | 76,7 | 17057 | 3 | 4 |
| 30 | 1025 | 83,3 | 20111 | 3 | |
| 31 | 1001 | 83,7 | 21520 | 2 | |
| 32 | 995 | 82,7 | 19546 | 2 | |
| 33 | 966 | 92,7 | 16420 | 3 | |
| 34 | 968 | 81,9 | 16727 | 3 | |
| 35 | 965 | 81,6 | 18256 | 3 | |
| 36 | 1142 | 54,9 | 8180 | 2 | 05 04 |
| 37 | 954 | 82,9 | 19743 | 3 | |
| 38 | 956 | 82,6 | 18470 | 2 | |
| 39 | 974 | 82,5 | 18540 | 3 | |
| 40 | 961 | 68,9 | 14159 | 3 | |
| 41 | 990 | 85,5 | 18602 | 3 | |
| 42 | 1048 | 73,8 | 19216 | 4 | |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|-------|
| 43 | 943 | 81,7 | 18432 | 3 | |
| 44 | 944 | 75,1 | 17900 | 2 | |
| 45 | 978 | 87,1 | 17420 | 3 | |
| 46 | 968 | 82,0 | 20666 | 3 | |
| 47 | 1008 | 82,4 | 20953 | 2 | 05 03 |
| 48 | 991 | 88,4 | 21179 | 2 | |
| 49 | 953 | 87,9 | 17493 | 3 | |
| 50 | 958 | 85,7 | 17021 | 2 | |
| 51 | 944 | 82,6 | 16372 | 3 | |
| 52 | 952 | 83,4 | 17396 | 3 | |
| 53 | 1010 | 84,1 | 17804 | 3 | |
| 54 | 974 | 84,1 | 18420 | 3 | |
| 55 | 1021 | 81,6 | 17858 | 5 | 04;05 |
| 56 | 1010 | 81,6 | 17854 | 2 | |
| 57 | 987 | 81,5 | 17817 | 2 | |
| 58 | 1000 | 81,4 | 17757 | 4 | |
| 59 | 1048 | 81,6 | 17855 | 2 | 5 |
| 60 | 1002 | 81,6 | 17852 | 2 | 3 |
| média | 986 | 82 | 17855 | | |

Tabela 5.8 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Cabreúva-vermelha 0,05 x 0,05 x 0,15 m

| Cp | densidade kg/m3 | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 998 | 80,7 | 20432 | 3 | |
| 2 | 1021 | 75,0 | 18252 | 4 | |
| 3 | 1001 | 81,6 | 18070 | 3 | |
| 4 | 1031 | 75,7 | 19359 | 3 | |
| 5 | 1002 | 81,2 | 18702 | 3 | |
| 6 | 987 | 76,6 | 19351 | 2 | |
| 7 | 982 | 73,6 | 19074 | 5 | 05;04;01 |
| 8 | 1044 | 66,4 | 17676 | 3 | |
| 9 | 1029 | 76,3 | 18132 | 3 | |
| 10 | 1010 | 84,5 | 19198 | 3 | |
| 11 | 983 | 84,4 | 18871 | 3 | |
| 12 | 961 | 80,5 | 19163 | 5 | |
| 13 | 977 | 82,6 | 18397 | 3 | |
| 14 | 992 | 83,1 | 18888 | 3 | |
| 15 | 984 | 76,3 | 17624 | 5 | 05;02 |
| 16 | 979 | 82,4 | 18053 | 5 | 02;01 |
| 17 | 965 | 82,3 | 17346 | 3 | |
| 18 | 961 | 80,0 | 17449 | 3 | |
| 19 | 965 | 77,0 | 20478 | 4 | |
| 20 | 956 | 83,0 | 17253 | 2 | 01;02 |
| 21 | 1016 | 75,6 | 15659 | 2 | 05;02 |
| 22 | 985 | 81,0 | 21786 | 3 | |
| 23 | 1011 | 84,9 | 16993 | 3 | |
| 24 | 982 | 84,9 | 17164 | 3 | |
| 25 | 1007 | 80,3 | 19998 | 3 | |
| 26 | 1050 | 77,5 | 20382 | 3 | |
| 27 | 1025 | 82,3 | 20592 | 3 | |
| 29 | 974 | 72,8 | 18725 | 3 | 02;05 |
| 30 | 1022 | 70,2 | 19853 | 4 | |
| 31 | 1050 | 72,1 | 19898 | 5 | 02;05 |
| 32 | 987 | 80,9 | 20194 | 3 | |
| 33 | 960 | 71,9 | 17594 | 5 | 02;05;01;04 |
| 34 | 1032 | 83,9 | 19865 | 2 | |
| 35 | 1031 | 79,4 | 20494 | 3 | |
| 36 | 981 | 86,4 | 18972 | 5 | 02;04 |
| 37 | 989 | 85,3 | 18165 | 5 | 05. |
| 38 | 973 | 85,9 | 20727 | 3 | 02;04 |
| 39 | 964 | 82,3 | 20023 | 3 | |
| 40 | 968 | 81,0 | 19251 | 3 | |
| 41 | 1014 | 81,4 | 21786 | 2 | |
| 43 | 963 | 77,4 | 16207 | 3 | 05;02 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|----------|
| 44 | 1028 | 74,4 | 21280 | 3 | |
| 45 | 984 | 81,5 | 20508 | 3 | |
| 46 | 1043 | 71,4 | 18367 | 3 | |
| 48 | 967 | 85,0 | 19008 | 3 | |
| 49 | 993 | 81,9 | 22178 | 3 | 02;01;04 |
| 50 | 1011 | 79,4 | 17449 | 3 | |
| 51 | 985 | 80,9 | 20633 | 3 | 01;02 |
| 52 | 1042 | 79,3 | 21705 | 3 | |
| 53 | 983 | 78,2 | 21199 | 3 | |
| 54 | 955 | 83,5 | 17567 | 5 | 01;02 |
| 55 | 1055 | 69,8 | 19863 | 3 | |
| 56 | 1012 | 79,3 | 20637 | 3 | |
| 57 | 1042 | 79,3 | 22245 | 3 | |
| 58 | 963 | 79,3 | 22279 | 3 | |
| 59 | 1043 | 79,4 | 22355 | 3 | |
| 60 | 1017 | 79,4 | 22436 | 3 | |
| média | 999 | 79 | 22250 | | |

Tabela 5.9 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Garapeira 0,03 x 0,03 x 0,09 m

| Cp | densidade kg/m³ | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1A | 901 | 90,3 | 23366 | 3 | 4 |
| 3A | 893 | 83,1 | 24179 | 5 | 1,4 |
| 4A | 908 | 90,9 | 20001 | 3 | 4,3 |
| 5A | 881 | 80,6 | 17398 | 3 | 2 |
| 6A | 897 | 77,3 | 19089 | 3 | - |
| 7A | 901 | 53,7 | 17279 | 3 | - |
| 8A | 884 | 92,1 | 21825 | 1 | - |
| 9A | 889 | 91,8 | 20235 | 3 | - |
| 10A | 880 | 84,8 | 17616 | 1 | - |
| 11A | 901 | 85,9 | 19054 | 3 | - |
| 12B | 819 | 72,6 | 18708 | 1 | 5 |
| 13B | 820 | 67,7 | 15437 | 1 | 2,4 |
| 14B | 806 | 55,3 | 11884 | 5 | 3 |
| 16B | 814 | 69,6 | 14711 | 1 | - |
| 17B | 824 | 53,1 | 16349 | 3 | - |
| 18B | 813 | 64,2 | 13469 | 1 | - |
| 20B | 801 | 65,2 | 15114 | 1 | 2,4 |
| 21B | 840 | 61,1 | 16404 | 5 | - |
| 22B | 822 | 62,3 | 18371 | 5 | - |
| 24B | 816 | 62,6 | 15686 | 3 | - |
| 25B | 830 | 75,4 | 21833 | 1 | - |
| 27B | 852 | 80,7 | 18467 | 5 | - |
| 28C | 812 | 66,8 | 17936 | 3 | - |
| 29C | 808 | 65,4 | 19073 | 1 | - |
| 30C | 789 | 68,6 | 15798 | 2 | - |
| 31C | 803 | 67,2 | 19094 | 3 | - |
| 32C | 823 | 69,4 | 17883 | 3 | - |
| 33C | 806 | 68,3 | 16024 | 1 | - |
| 34C | 838 | 70,7 | 18702 | 1 | - |
| 35C | 804 | 68,7 | 17674 | 5 | - |
| 36C | 808 | 67,1 | 16482 | 3 | - |
| 37D | 848 | 77,3 | 16581 | 1 | - |
| 38D | 833 | 79,5 | 20098 | 3 | - |
| 39D | 881 | 82,6 | 18957 | 3 | - |
| 40D | 949 | 92,8 | 19167 | 1 | - |
| 41D | 950 | 94,0 | 21182 | 3 | - |
| 42D | 824 | 83,6 | 20485 | 3 | - |
| 43D | 828 | 76,8 | * | 3 | - |
| 44D | 822 | 73,4 | 17605 | 3 | - |
| 46D | 897 | 93,2 | 18788 | 3 | - |
| 47D | 863 | 79,2 | 18322 | 2 | - |
| 48D | 957 | 96,9 | 21935 | 1 | - |

| | | | | | |
|--------------|--------------|-----------|--------------|---|---|
| 50E | 858 | 74,5 | 21877 | 3 | - |
| 51E | 857 | 69,9 | 23615 | 1 | - |
| 53E | 860 | 69,1 | 20684 | 3 | - |
| 54E | 831 | 68,1 | 22285 | 3 | - |
| 55E | 857 | 76,8 | 23001 | 3 | - |
| 56E | 866 | 75,4 | 20910 | 1 | - |
| 58E | 845 | 75,7 | 24195 | 2 | - |
| 59E | 844 | 76,8 | 26823 | 2 | 4 |
| 60E | 858 | 79,2 | 21998 | 1 | - |
| 61E | 863 | 78,8 | 19868 | 2 | - |
| 62E | 849 | 74,2 | 24118 | 2 | - |
| 64F | 811 | 75,1 | 19185 | 5 | - |
| 65F | 833 | 74,8 | 19105 | 3 | - |
| 66F | 829 | 74,7 | 19007 | 3 | - |
| 67F | 826 | 74,3 | 18988 | 3 | - |
| 68F | 840 | 75,1 | 19177 | 1 | - |
| 69F | 842 | 74,8 | 19102 | 1 | - |
| média | 849,2 | 75 | 19175 | | |

* indica que o módulo de elasticidade não foi detectado pela máquina de ensaio.

Tabela 5.10 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Garapeira 0,05 x 0,05 x 0,15 m

| Cp | densidade kg/m³ | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1A | 899 | 82,1 | 20908 | 1 | 4 |
| 3A | 912 | 83,0 | 18893 | 4 | 4 |
| 4A | 895 | 71,5 | 17711 | 5 | 4,5 |
| 5A | 910 | 76,6 | 20332 | 5 | 4 |
| 6A | 881 | 83,3 | 19774 | 3 | 4 |
| 7A | 879 | 83,9 | 19796 | 5 | 4 |
| 8A | 913 | 84,7 | 23070 | 1 | 4 |
| 12B | 946 | 73,9 | 19709 | 3 | 6 |
| 13B | 913 | 64,1 | 15875 | 1 | 0 |
| 14B | 878 | 75,1 | 18012 | 4 | 4,2,1 |
| 15B | 895 | 72,3 | 18882 | 1 | 1, 2,4 |
| 16B | 860 | 69,6 | 18963 | 5 | 2,4 |
| 17B | 916 | 63,1 | 19246 | 1 | 1,2,4 |
| 18B | 905 | 65,4 | 21547 | 1 | 0 |
| 19B | 918 | 67,0 | 19131 | 5 | 0 |
| 21B | 899 | 76,3 | 20920 | 1 | 0 |
| 23B | 919 | 67,1 | 16426 | 2 | 3 |
| 24B | 895 | 70,3 | 22522 | 3 | 2,4 |
| 25C | 832 | 65,7 | 18312 | 3 | 3,4 |
| 26C | 852 | 72,4 | 20476 | 3 | 0 |
| 27C | 859 | 72,1 | 18992 | 2 | 4 |
| 28C | 847 | 64,7 | 16356 | 2 | 3,4 |
| 29D | 829 | 64,9 | 17011 | 3 | 2,4 |
| 30D | 833 | 75,1 | 19730 | 1 | 0 |
| 31D | 799 | 76,6 | 19428 | 3 | 0 |
| 33D | 843 | 86,5 | 19042 | 2 | 0 |
| 34D | 837 | 81,6 | 19217 | 1 | 4,5 |
| 35D | 827 | 74,2 | 20969 | 3 | 0 |
| 36D | 808 | 74,7 | 17224 | 2 | 4 |
| 38D | 798 | 67,6 | 17712 | 5 | 4 |
| 39D | 805 | 80,1 | 17389 | 2 | 0 |
| 40D | 820 | 73,3 | 17831 | 5 | 2,4,5 |
| 41D | 818 | 73,9 | 18930 | 1 | 0 |
| 43D | 818 | 77,1 | 18993 | 2 | 5 |
| 44D | 835 | 70,1 | 17253 | 1 | 4,5 |
| 45D | 846 | 71,7 | 17730 | 2 | 0 |
| 46D | 905 | 64,0 | 13526 | 5 | 5,4 |
| 47D | 841 | 75,9 | 18850 | 2 | 4 |
| 48D | 827 | 77,3 | 20925 | 3 | 0 |
| 49E | 846 | 77,2 | 21012 | 3 | 4 |
| 50E | 836 | 77,1 | 22432 | 2 | 4 |
| 51E | 852 | 83,5 | 22101 | 3 | 3,4 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|-----|
| 52E | 842 | 74,9 | 23099 | 1 | 4,3 |
| 53E | 831 | 77,3 | 22615 | 3 | 4 |
| 54E | 841 | 76,9 | 21093 | 3 | 3,4 |
| 55E | 845 | 76,2 | 22297 | 3 | 3,4 |
| 56E | 842 | 80,7 | 22278 | 3 | 3,4 |
| 57E | 847 | 74,9 | 22036 | 1 | 0 |
| 58E | 835 | 75,8 | 20934 | 2 | 4 |
| 59E | 847 | 73,7 | 18773 | 2 | 3,4 |
| 61E | 829 | 74,4 | 21115 | 1 | 3,4 |
| 62E | 839 | 73,5 | 20863 | 3 | 4 |
| 63E | 837 | 74,3 | 19581 | 3 | 4 |
| 65F | 803 | 74,1 | 19556 | 1 | 2,3 |
| 66F | 804 | 74,0 | 19568 | 3 | 0 |
| média | 857 | 74 | 19580 | | |

Tabela 5.11 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Eucalypto 0,03 x 0,03 x 0,09 m

| Cp | densidade kg/m³ | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 013A | 494 | 42,1 | 10894 | 1 | |
| 023A | 495 | 41,9 | 11561 | 3 | |
| 043A | 450 | 38,6 | 9594 | 3 | |
| 053A | 480 | 37,8 | 9391 | 2 | 5 |
| 063A | 464 | 38,9 | 7689 | 3 | |
| 073A | 466 | 38,6 | 9331 | 1 | |
| 083A | 490 | 42,7 | 21140 | 1 | |
| 093A | 466 | 35,1 | 8101 | 3 | 5 |
| 103A | 477 | 33,0 | 83952 | 2 | 5 |
| 113A | 474 | 40,3 | 26128 | 3 | |
| 123A | 486 | 43,8 | 10821 | 1 | |
| 133A | 487 | 41,9 | 10504 | 3 | |
| 143A | 478 | 39,5 | 12048 | 1 | |
| 153A | 504 | 42,0 | 13921 | 1 | |
| 173A | 539 | 39,5 | 8512 | 3 | |
| 203A | 560 | 44,3 | 11194 | 1 | |
| 213A | 474 | 39,6 | 9049 | 1 | |
| 223A | 483 | 41,3 | 10031 | 3 | |
| 233A | 508 | 42,7 | 12025 | 1 | |
| 243A | 513 | 45,1 | 10666 | 1 | |
| 253A | 491 | 38,6 | 8896 | 1 | |
| 262A | 431 | 36,8 | 8536 | 3 | |
| 272A | 444 | 37,2 | 10947 | 1 | |
| 282A | 423 | 35,9 | 9958 | 1 | |
| 292A | 415 | 35,2 | 9590 | 3 | |
| 302A | 405 | 35,3 | 9177 | 1 | |
| 312A | 526 | 29,2 | 8803 | 2 | 5 |
| 322A | 424 | 33,5 | 9448 | 1 | |
| 332A | 453 | 35,7 | 11334 | 3 | |
| 342A | 419 | 34,3 | 8490 | 3 | 5 |
| 362A | 400 | 33,3 | 8455 | 3 | |
| 372A | 446 | 36,0 | 11952 | 1 | |
| 382A | 452 | 36,4 | 10494 | 1 | |
| 392A | 440 | 35,5 | 10871 | 1 | |
| 402A | 410 | 31,8 | 8526 | 3 | |
| 412A | 446 | 36,4 | 11576 | 1 | |
| 422A | 408 | 33,7 | 10461 | 1 | |
| 432A | 460 | 38,9 | 11890 | 1 | |
| 44A | 396 | 27,4 | 8098 | 1 | 4 |
| 45A | 447 | 37,9 | 11512 | 1 | |
| 46A | 406 | 32,8 | 8139 | 3 | |
| 47A | 451 | 40,3 | 9035 | 1 | 5 |

| | | | | | |
|------|-----|------|-------|---|-----|
| 48A | 440 | 36,6 | 8702 | 1 | |
| 49A | 438 | 37,1 | 10138 | 1 | |
| 50A | 420 | 36,2 | 9108 | 3 | |
| 51A | 448 | 34,0 | 8606 | 2 | 5 |
| 52A | 430 | 38,3 | 8916 | 1 | |
| 53A | 436 | 40,3 | 10594 | 1 | |
| 54A | 450 | 35,3 | 10154 | 1 | 5 |
| 55A | 417 | 38,5 | 9489 | 3 | |
| 56A | 436 | 39,5 | 10618 | 3 | |
| 57A | 434 | 35,7 | 8610 | 1 | |
| 58A | 428 | 36,0 | 8118 | 3 | |
| 59A | 466 | 37,5 | 19866 | 2 | 5 |
| 60A | 418 | 37,4 | 20035 | 3 | |
| 61A | 454 | 37,3 | 20195 | 2 | 5 |
| 62A | 424 | 37,5 | 19875 | 1 | 3 |
| 63A | 440 | 37,4 | 20035 | 1 | 4 |
| 64A | 470 | 37,4 | 20186 | 1 | 4,5 |
| 65A | 425 | 37,3 | 20375 | 1 | |
| 66A | 423 | 37,3 | 20572 | 1 | |
| 67A | 417 | 37,3 | 20802 | 1 | |
| 68A | 408 | 37,3 | 21006 | 1 | |
| 69A | 449 | 37,2 | 21004 | 3 | 3 |
| 70A | 469 | 37,2 | 21235 | 3 | 3 |
| 71A | 523 | 37,3 | 20115 | 2 | 5 |
| 72A | 464 | 37,2 | 15808 | 2 | 5 |
| 7310 | 500 | 37,1 | 14158 | 2 | 5 |
| 7410 | 491 | 37,0 | 12535 | 3 | 5 |
| 7510 | 495 | 37,0 | 12544 | 3 | |
| 7610 | 548 | 36,9 | 12519 | 2 | 5 |
| 7710 | 482 | 36,8 | 12590 | 1 | 4 |
| 7810 | 470 | 36,7 | 12615 | 3 | |
| 7910 | 452 | 36,7 | 12679 | 3 | |
| 8010 | 463 | 36,6 | 12726 | 1 | |
| 8110 | 613 | 36,5 | 12739 | 2 | 5 |
| 8210 | 487 | 36,3 | 12776 | 1 | |
| 8310 | 490 | 36,3 | 12845 | 3 | 4,5 |
| 8410 | 473 | 36,3 | 12922 | 3 | |
| 8510 | 454 | 36,2 | 12957 | 1 | |
| 8610 | 491 | 36,3 | 13011 | 1 | 4 |
| 8710 | 524 | 36,3 | 13072 | 3 | |
| 8810 | 532 | 36,3 | 13142 | 3 | 4,5 |
| 8910 | 587 | 36,4 | 13219 | 3 | 5 |
| 9010 | 466 | 36,5 | 13286 | 3 | 4 |
| 9110 | 487 | 36,5 | 13321 | 3 | |
| 9210 | 478 | 36,5 | 13408 | 3 | |
| 9310 | 504 | 36,6 | 13496 | 3 | |
| 9410 | 480 | 36,6 | 13524 | 3 | 3 |

| | | | | | |
|--------|-----|------|-------|---|-----|
| 9519 | 483 | 36,6 | 13578 | 2 | 5 |
| 9619 | 472 | 36,6 | 13626 | 2 | 5 |
| 9719 | 464 | 36,7 | 13717 | 2 | 5 |
| 9819 | 492 | 36,7 | 13755 | 2 | 5 |
| 9919 | 449 | 36,8 | 13814 | 4 | 5 |
| 10019 | 435 | 36,7 | 13849 | 5 | 5 |
| 10119 | 486 | 36,9 | 13951 | 3 | 3 |
| 10219 | 464 | 36,9 | 13995 | 1 | |
| 10319 | 510 | 36,9 | 14099 | 2 | 5 |
| 10419 | 415 | 36,9 | 14190 | 1 | 3 |
| 10519 | 410 | 36,9 | 14288 | 3 | 4 |
| 10619 | 486 | 36,9 | 14362 | 2 | 4,5 |
| 10719 | 416 | 36,9 | 14456 | 3 | |
| 10819 | 462 | 36,9 | 14560 | 3 | |
| 10919 | 406 | 36,9 | 14661 | 1 | 5 |
| 11019 | 452 | 36,9 | 14734 | 2 | 5 |
| 11119 | 444 | 36,9 | 14815 | 2 | 5 |
| 11219 | 499 | 36,9 | 14911 | 3 | 4,5 |
| 11319 | 477 | 36,8 | 14987 | 3 | 5 |
| 11419 | 420 | 36,8 | 15101 | 1 | 5 |
| 11519 | 456 | 36,8 | 15226 | 1 | 5 |
| 1163D | 510 | 36,8 | 15143 | 2 | 4,5 |
| 1173D | 485 | 36,8 | 15056 | 1 | |
| 1183D | 482 | 36,8 | 14964 | 3 | |
| 1193D | 475 | 36,8 | 14876 | 1 | |
| 1203D | 473 | 36,8 | 14784 | 1 | |
| 1213D | 481 | 36,8 | 14687 | 1 | |
| 1223D | 477 | 36,8 | 14586 | 3 | |
| 1233D | 446 | 36,8 | 14479 | 1 | |
| 1243D | 458 | 36,8 | 14366 | 3 | |
| 1253D | 465 | 36,7 | 14248 | 3 | |
| 1263D | 465 | 36,7 | 14127 | 1 | |
| 1273D | 523 | 36,7 | 14000 | 2 | 5 |
| 1283D | 479 | 36,7 | 13891 | 3 | 5 |
| 1293D | 480 | 36,7 | 13857 | 3 | |
| 1303D | 467 | 36,7 | 13851 | 1 | |
| 1313D | 480 | 36,7 | 13875 | 3 | |
| 1323D | 484 | 36,7 | 13898 | 5 | |
| 1333D | 497 | 36,7 | 13923 | 1 | |
| 1343D | 487 | 36,7 | 13947 | 1 | |
| 1353D | 537 | 36,7 | 13971 | 3 | 5 |
| 1363D | 493 | 36,7 | 13994 | 1 | |
| 1373D | 490 | 36,7 | 14016 | 3 | |
| 1383D | 485 | 36,7 | 14039 | 3 | |
| 1393D | 523 | 36,7 | 14062 | 2 | 5 |
| 14112B | 455 | 36,7 | 14083 | 3 | |
| 14212B | 585 | 36,7 | 14104 | 2 | 5 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|-----|
| 14312B | 478 | 36,7 | 14125 | 1 | |
| 14412B | 436 | 36,7 | 14145 | 1 | |
| 14512B | 428 | 36,7 | 14164 | 3 | |
| 14612B | 476 | 36,7 | 14182 | 4 | |
| 14712B | 483 | 36,7 | 14199 | 3 | |
| 14812B | 445 | 36,8 | 14215 | 1 | |
| 15012B | 459 | 36,8 | 14231 | 3 | |
| 15112B | 456 | 36,8 | 14246 | 1 | |
| 15212B | 445 | 36,8 | 14259 | 3 | |
| 15312B | 446 | 36,8 | 14273 | 3 | |
| 15412B | 465 | 36,8 | 14285 | 1 | 4 |
| 15512B | 465 | 36,8 | 14297 | 3 | |
| 15612B | 515 | 36,8 | 14307 | 2 | 5 |
| 15712B | 489 | 36,8 | 14317 | 2 | 4,5 |
| 15812B | 466 | 36,8 | 14326 | 3 | 4,5 |
| 15912B | 434 | 36,8 | 14335 | 3 | |
| 16012B | 429 | 36,8 | 14341 | 1 | |
| 16112B | 426 | 36,8 | 14348 | 3 | |
| 16212B | 475 | 36,8 | 14352 | 1 | |
| 16312B | 475 | 36,8 | 14355 | 1 | |
| 16412B | 485 | 36,8 | 14356 | 1 | |
| 16512B | 464 | 36,8 | 14356 | 1 | |
| 16612B | 454 | 36,8 | 14354 | 3 | |
| média | 467 | 36 | 12524 | | |

Tabela 5.12 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Eucalypto 0,05 x 0,05 x 0,15 cm

| Cp | densidad e kg/m3 | fc₀ MPa | Ec₀ MPa | Modo de ruptura | Defeitos da peça |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 013A | 502 | 42,5 | 10445 | 3 | 5 |
| 023A | 503 | 36,1 | 8609 | 2 | 5 |
| 033A | 476 | 40,3 | 10479 | 1 | |
| 043A | 510 | 36,4 | 8888 | 3 | 5 |
| 053A | 479 | 37,7 | 10324 | 3 | 5 |
| 063A | 470 | 38,9 | 10257 | 3 | |
| 073A | 506 | 37,4 | 9715 | 3 | 5 |
| 083A | 513 | 42,5 | 11788 | 3 | 3 |
| 093A | 517 | 36,9 | 11121 | 3 | 5 |
| 103A | 513 | 42,0 | 11287 | 3 | |
| 113A | 465 | 38,8 | 9515 | 3 | 3 |
| 123A | 469 | 39,4 | 9616 | 3 | |
| 133A | 492 | 37,9 | 8846 | 3 | 5 |
| 143A | 527 | 37,2 | 9781 | 3 | 5 |
| 153A | 509 | 43,3 | 10984 | 1 | 3 |
| 162A | 446 | 38,8 | 10307 | 1 | |
| 172A | 444 | 37,6 | 10247 | 1 | |
| 182A | 442 | 39,9 | 10678 | 3 | 5 |
| 192A | 440 | 30,5 | 7883 | 3 | 4,5 |
| 202A | 445 | 34,8 | 10034 | 2 | 5 |
| 212A | 442 | 35,9 | 9358 | 2 | 5 |
| 222A | 435 | 38,9 | 10687 | 1 | |
| 232A | 425 | 39,5 | 10360 | 1 | |
| 242A | 432 | 39,5 | 10756 | 1 | |
| 252A | 454 | 29,1 | 7966 | 2 | 5 |
| 262A | 457 | 37,7 | 10211 | 2 | 5 |
| 27A | 446 | 37,9 | 9470 | 2 | 5 |
| 28A | 422 | 37,1 | 9618 | 3 | |
| 29A | 422 | 37,8 | 9361 | 3 | |
| 30A | 430 | 36,1 | 9757 | 3 | |
| 31A | 422 | 34,6 | 8735 | 2 | 5,1 |
| 32A | 431 | 38,3 | 10084 | 2 | 5 |
| 33A | 456 | 33,2 | 10276 | 2 | 5 |
| 34A | 449 | 33,8 | 8531 | 3 | 5,4 |
| 35A | 438 | 36,1 | 9417 | 2 | 5,3 |
| 3710 | 555 | 36,6 | 9353 | 4 | 5 |
| 3810 | 499 | 42,9 | 11909 | 3 | 5 |
| 3910 | 540 | 30,9 | 7174 | 2 | 5 |
| 4010 | 533 | 32,2 | 8363 | 2 | 5 |
| 4110 | 505 | 44,4 | 10698 | 3 | 1 |
| 4210 | 474 | 38,0 | 9784 | 2 | 5 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|-------------|---|-----|
| 4310 | 490 | 37,4 | 8823 | 5 | 5,1 |
| 4410 | 493 | 37,3 | 8671 | 2 | 4,5 |
| 4519 | 449 | 32,0 | 7806 | 2 | 5 |
| 4619 | 461 | 32,8 | 7736 | 3 | 5 |
| 4719 | 464 | 36,9 | 10166 | 4 | |
| 4819 | 451 | 25,9 | 6794 | 3 | 5 |
| 4919 | 463 | 34,6 | 7973 | 2 | |
| 5019 | 457 | 26,3 | 6346 | 3 | 5,4 |
| 5119 | 445 | 38,7 | 8470 | 2 | |
| 5219 | 470 | 36,3 | 9620 | 3 | 5 |
| 5319 | 453 | 35,4 | 9208 | 2 | |
| 5419 | 448 | 33,9 | 9052 | 3 | 5 |
| 5519 | 461 | 36,7 | 9497 | 3 | |
| 5619 | 457 | 36,6 | 9479 | 3 | |
| 5719 | 437 | 36,6 | 9495 | 2 | 5 |
| 583D | 477 | 36,7 | 9497 | 3 | 3 |
| 593D | 494 | 36,6 | 9480 | 2 | 4,5 |
| 603D | 468 | 36,6 | 9495 | 3 | |
| 613D | 489 | 36,6 | 9478 | 3 | 5 |
| 623D | 494 | 36,6 | 9488 | 2 | 5 |
| 633D | 478 | 36,6 | 9473 | 2 | 5 |
| 643D | 461 | 36,5 | 9459 | 3 | 5 |
| 653D | 485 | 36,5 | 9455 | 2 | 5 |
| 663D | 486 | 36,4 | 9413 | 3 | 5 |
| 673D | 537 | 36,4 | 9383 | 2 | 5 |
| 683D | 526 | 36,3 | 9349 | 2 | 5 |
| 693D | 539 | 36,2 | 9346 | 2 | 5 |
| 703D | 510 | 36,2 | 9341 | 3 | |
| 713D | 488 | 36,1 | 9350 | 3 | |
| 7212B | 467 | 36,1 | 9342 | 3 | |
| 7312B | 461 | 36,0 | 9313 | 1 | |
| 7412B | 457 | 36,0 | 9295 | 3 | 4,5 |
| 7512B | 464 | 35,9 | 9278 | 2 | 5 |
| 7612B | 446 | 35,9 | 9253 | 1 | |
| 7712B | 469 | 35,9 | 9277 | 2 | 5 |
| 7812B | 448 | 36,0 | 9264 | 3 | 4 |
| 7912B | 471 | 36,0 | 9262 | 3 | 4 |
| 8012B | 464 | 35,9 | 9237 | 3 | |
| 8212B | 492 | 35,9 | 9216 | 2 | 5 |
| 8312B | 466 | 35,8 | 9189 | 1 | 4 |
| 8412B | 457 | 35,9 | 9211 | 1 | |
| 8512B | 468 | 35,9 | 9193 | 1 | 4 |
| 8612B | 462 | 35,8 | 9188 | 1 | 4 |
| 8712B | 459 | 35,8 | 9180 | 1 | |
| média | 472 | 38 | 9731 | | |

Tabela 5.13 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Pinnus 0,03 x 0,03 x 0,09 m

| CP | Densidade Kg/m ³ | Fc0 MPa | Ec0 MPa | Modo de Ruptura | Defeitos da peça |
|------|--------------------------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|
| 1.1 | 614 | 51 | 10881 | 3 | |
| 1.2 | 714 | 69 | 18661 | 3 | |
| 1.3 | 707 | 71 | 17436 | 3 | |
| 1.4 | 698 | 74 | 20207 | 3 | |
| 1.5 | 622 | 63 | 13675 | 3 | |
| 1.6 | 486 | 40 | 8269 | 3 | |
| 1.7 | 463 | 40 | 8098 | 3 | |
| 1.8 | 486 | 43 | 9341 | 1 | |
| 1.9 | 611 | 30 | 4188 | 3 | 5 |
| 1.10 | 707 | 77 | 17129 | 3 | |
| 1.11 | 715 | 66 | 20203 | 3 | |
| 1.12 | 699 | 72 | 16617 | 3 | |
| 1.13 | 673 | 70 | 17319 | 3 | |
| 1.14 | 646 | 46 | 14177 | 3 | |
| 1.15 | 451 | 30 | 6495 | 1 | |
| 1.16 | 476 | 41 | 9717 | 1 | |
| 1.17 | 600 | 54 | 14563 | 1 | |
| 1.18 | 432 | 35 | 7760 | 3 | |
| 2.19 | 648 | 27 | 19743 | 4 | |
| 2.20 | 567 | 37 | 7088 | 2 | 5 |
| 2.21 | 711 | 35 | 6628 | 2 | 5 |
| 2.22 | 477 | 46 | 11364 | 1 | |
| 2.23 | 513 | 51 | 14293 | 1 | |
| 2.24 | 551 | 54 | 12721 | 3 | |
| 2.25 | 675 | 69 | 21672 | 3 | |
| 2.26 | 707 | 69 | 18967 | 3 | |
| 2.27 | 648 | 71 | 23141 | 3 | |
| 2.28 | 673 | 74 | 21108 | 1 | |
| 2.29 | 647 | 58 | 11118 | 3 | |
| 2.30 | 535 | 39 | 7750 | 2 | 5 |
| 2.31 | 665 | 73 | 18764 | 1 | |
| 2.32 | 497 | 50 | 10270 | 2 | 5 |
| 2.33 | 675 | 61 | 20754 | 3 | |
| 2.34 | 681 | 71 | 19231 | 3 | |
| 2.35 | 590 | 54 | 10560 | 3 | |
| 2.36 | 612 | 58 | 11382 | 3 | |
| 3.37 | 609 | 68 | 17522 | 2 | |
| 3.38 | 642 | 69 | 18343 | 3 | |
| 3.39 | 516 | 49 | 11861 | 3 | |
| 3.40 | 636 | 62 | 13876 | 3 | |
| 3.41 | 455 | 32 | 6307 | 2 | 1 |
| 3.42 | 516 | 37 | 5476 | 3 | |
| 3.43 | 675 | 29 | 3855 | 2 | 5 |
| 3.44 | 468 | 34 | 5648 | 3 | |

| | | | | | |
|------|-----|----|-------|---|---|
| 3.45 | 511 | 37 | 5919 | 3 | 3 |
| 3.46 | 454 | 33 | 7187 | 3 | |
| 3.47 | 492 | 33 | 5586 | 3 | |
| 3.48 | 520 | 36 | 5368 | 3 | 3 |
| 3.49 | 515 | 32 | 4061 | 3 | |
| 3.50 | 888 | 24 | 2669 | 2 | 5 |
| 3.51 | 456 | 34 | 6366 | 3 | |
| 3.52 | 530 | 35 | 5141 | 3 | |
| 3.53 | 533 | 36 | 5034 | 3 | 3 |
| 3.54 | 533 | 38 | 5463 | 3 | |
| 3.55 | 654 | 27 | 4327 | 2 | 5 |
| 3.56 | 460 | 35 | 7683 | 3 | |
| 3.57 | 440 | 34 | 6369 | 3 | |
| 3.58 | 519 | 38 | 6231 | 3 | |
| 4.59 | 499 | 36 | 6508 | 3 | |
| 4.60 | 432 | 32 | 7084 | 1 | |
| 4.61 | 528 | 34 | 4780 | 3 | |
| 4.62 | 640 | 33 | 4779 | 3 | 3 |
| 4.63 | 525 | 42 | 8429 | 3 | |
| 4.64 | 562 | 52 | * | 3 | |
| 4.65 | 521 | 41 | 8173 | 3 | |
| 4.66 | 656 | 54 | 13451 | 1 | |
| 4.67 | 565 | 45 | 10710 | 1 | |
| 4.68 | 510 | 37 | 8826 | 1 | |
| 4.69 | 521 | 41 | 8937 | 1 | |
| 4.70 | 523 | 42 | 7972 | 1 | |
| 4.71 | 636 | 52 | 14773 | 1 | |
| 4.72 | 571 | 39 | 7088 | 3 | |
| 4.73 | 628 | 55 | 15855 | 1 | |
| 4.74 | 512 | 37 | 8151 | 3 | |
| 4.75 | 499 | 37 | 8672 | 1 | |
| 4.76 | 648 | 57 | 85330 | 1 | |
| 4.77 | 607 | 52 | 14171 | 1 | |
| 4.78 | 555 | 46 | 12538 | 1 | |
| 4.79 | 647 | 59 | 17456 | 1 | |
| 4.80 | 492 | 38 | 7968 | 1 | |
| 5.81 | 577 | 43 | * | 1 | |
| 5.82 | 530 | 43 | 9905 | 1 | |
| 5.83 | 512 | 42 | 8580 | 1 | |
| 5.84 | 512 | 37 | 7276 | 1 | |
| 5.85 | 659 | 37 | 6503 | 2 | 5 |
| 5.86 | 495 | 38 | 7895 | 3 | |
| 5.87 | 508 | 38 | 7801 | 1 | |
| 5.88 | 564 | 47 | 10637 | 1 | |
| 5.89 | 531 | 45 | 10716 | 3 | |
| 5.90 | 623 | 37 | 5344 | 3 | 3 |
| 5.91 | 572 | 43 | 8289 | 3 | 3 |
| 5.92 | 643 | 59 | 15165 | 1 | |
| 5.93 | 482 | 37 | 8300 | 1 | |
| 5.94 | 652 | 56 | 15719 | 1 | |
| 5.95 | 506 | 38 | 8834 | 1 | |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|---|
| 5.96 | 583 | 31 | 11312 | 3 | 5 |
| 5.97 | 612 | 49 | 13729 | 1 | |
| 5.98 | 612 | 55 | 15184 | 1 | |
| 5.99 | 484 | 36 | 7826 | 1 | 3 |
| 5.100 | 527 | 41 | 9866 | 1 | 5 |
| 5.101 | 422 | 37 | 4250 | 3 | 3 |
| 5.102 | 471 | 35 | 7734 | 1 | |
| 5.103 | 503 | 40 | 10239 | 1 | |
| 5.104 | 494 | 37 | 7455 | 3 | 5 |
| 5.105 | 473 | 36 | 7345 | 3 | |
| 5.106 | 496 | 38 | 8618 | 1 | |
| média | 568 | 46 | 11325 | | |

* indica que o módulo de elasticidade não foi detectado pela máquina de ensaio.

Tabela 5.14 - Resultados dos ensaios de compressão paralela. Pinnus 0,05 x 0,05 x 0,15 m

| CP | Densidade Kg/m ³ | Fc0 MPa | Ec0 MPa | Modo de Ruptura | Defeitos da peça |
|------|--------------------------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|
| 1.1 | 693 | 72 | 15785 | 3 | |
| 1.2 | 514 | 33 | 8262 | 1 | |
| 1.3 | 494 | 44 | 11026 | 3 | |
| 1.4 | 540 | 30 | * | 2 | 5,1 |
| 1.5 | 492 | 44 | 9742 | 3 | |
| 1.6 | 600 | 54 | 13942 | 2 | |
| 1.7 | 676 | 72 | 15007 | 3 | |
| 1.8 | 588 | 48 | 13369 | 3 | |
| 1.9 | 709 | 69 | 20214 | 3 | |
| 1.10 | 476 | 42 | * | 3 | |
| 1.11 | 641 | 40 | * | 2 | 5,4 |
| 2.12 | 545 | 55 | 15508 | 3 | |
| 2.13 | 615 | 65 | 14438 | 3 | |
| 2.14 | 614 | 64 | 16726 | 3 | |
| 2.15 | 532 | 56 | 13826 | 1 | |
| 2.16 | 635 | 63 | 17164 | 3 | |
| 2.17 | 620 | 49 | 16735 | 3 | |
| 2.18 | 617 | 62 | 18448 | 3 | |
| 2.19 | 650 | 55 | 12518 | 3 | |
| 2.20 | 628 | 57 | 14448 | 3 | |
| 2.21 | 558 | 50 | 10567 | 3 | |
| 2.22 | 634 | 65 | 12657 | 5 | |
| 3.23 | 488 | 36 | 5755 | 3 | 4 |
| 3.24 | 563 | 31 | 4618 | 2 | 5,4 |
| 3.25 | 487 | 35 | 5468 | 3 | |
| 3.26 | 509 | 34 | 5299 | 3 | |
| 3.27 | 528 | 31 | 4854 | 3 | 3 |
| 3.28 | 480 | 37 | 6808 | 3 | |
| 3.29 | 561 | 32 | 5232 | 2 | 5 |
| 3.30 | 611 | 30 | 4316 | 2 | 5 |
| 3.31 | 522 | 35 | 6302 | 2 | 5 |
| 3.32 | 506 | 32 | 4628 | 3 | |
| 3.33 | 507 | 32 | 5028 | 3 | 4 |
| 4.34 | 530 | 46 | 11271 | 3 | |
| 4.35 | 506 | 46 | 9108 | 3 | 3 |
| 4.36 | 521 | 45 | 9287 | 3 | |
| 4.37 | 527 | 46 | 9632 | 3 | |
| 4.38 | 518 | 43 | 8810 | 3 | |
| 4.39 | 575 | 43 | 9646 | 2 | 5 |
| 4.40 | 553 | 49 | 11362 | 3 | |
| 4.41 | 556 | 50 | 11788 | 3 | |
| 4.42 | 503 | 50 | 9862 | 3 | |
| 4.43 | 596 | 40 | * | 2 | 5 |

| | | | | | |
|--------------|------------|-----------|--------------|---|---|
| 4.44 | 507 | 47 | 9823 | 3 | |
| 5.45 | 561 | 41 | 6509 | 2 | 5 |
| 5.46 | 593 | 63 | 14025 | 3 | |
| 5.47 | 494 | 42 | 7426 | 2 | 5 |
| 5.48 | 540 | 57 | 12082 | 3 | |
| 5.49 | 526 | 50 | 9556 | 3 | 4 |
| 5.50 | 548 | 63 | 13258 | 3 | |
| 5.51 | 517 | 49 | 9786 | 3 | 3 |
| 5.52 | 498 | 45 | 7752 | 3 | |
| 5.53 | 591 | 48 | 11991 | 3 | 5 |
| 5.54 | 502 | 42 | 6164 | 3 | 3 |
| 5.55 | 514 | 47 | 7792 | 3 | |
| Média | 557 | 47 | 10502 | | |

* indica que o módulo de elasticidade não foi detectado pela máquina de ensaio.

Tabela 5.15 - Médias e variabilidade dos resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras considerando apenas os corpos-de-prova isentos de defeitos.

M = média (MPa); D = desvio padrão (MPa); Cv = Coeficiente de Variação (%) e n = número de corpos-de-prova

| Espécie | E_{c0} 3x3 | E_{c0} 5x5 | f_{co} 3x3 | f_{co} 5x5 |
|--------------------------|---|--|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Cerejeira | M=12171 D= 1989 CV = 16 n= 84 | M= 9918 D= 1132 CV = 11,4 n= 55 | M= 55 D= 6 CV = 10,9 n= 84 | M= 50 D= 5 CV = 10 n= 55 |
| Perobinha | M=13735 D=1198 CV = 9 n= 44 | M=12805 D=1303 CV = 10 n= 40 | M=59 D=2,5 CV = 4 n= 44 | M=60 D=5,5 CV = 9 n= 40 |
| Angico-preto | M=18306 D=2852 CV = 15,1 n= 16 | M=17064 D=3166 CV = 18 n= 34 | M=75 D=9,3 CV = 13 n= 64 | M=73 D=6 CV = 8 n= 34 |
| Garapeira | M=18614 D=2415 CV = 20 n= 49 | M=19498 D=1645 CV = 8 n= 16 | M=75 D=10 CV = 13 n= 49 | M=74 D=5,5 CV = 7 n= 16 |
| Cabreúva-vermelha | M=18010 D=1710 CV = 9 n= 52 | M=19398 D=1288 CV = 7 n= 42 | M=82 D=5 CV = 6 n= 52 | M=79 D=4,7 CV = 6 n= 42 |
| Eucalipto | M=14352 D=2817 CV =20 n= 102 | M=10227 D=1140 CV = 11 n= 27 | M=39 D=2,9 CV = 7 n= 102 | M=39 D=2,7 CV =6,9 n= 27 |
| Pinus | M=1212 D=4737 CV =37,0 n= 83 | M=1197 D=3767 CV = 31 n= 36 | M=50,28 D=12,3 CV = 24 n= 83 | M=50 D=11 CV =21 n= 36 |

Tabela 5.16 - Médias e variabilidade dos resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras considerando todos os corpos-de-prova.

M = média (MPa); D = desvio padrão (MPa); Cv = Coeficiente de Variação (%) e n = número de corpos-de-prova

| Espécie | E_{co} 3x3 | E_{co} 5x5 | F_{co} 3x3 | F_{co} 5x5 |
|--------------------------|---|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| Cerejeira | M=12171 D= 1989 CV = 16 n= 84 | M= 9918 D= 1132 CV = 11,4 N= 55 | M= 55 D= 6 CV = 10,9 n= 84 | M= 50 D= 5 CV = 10 n= 55 |
| Perobinha | M=13737 D= 1124 CV = 8,2 n= 53 | M=13167 D= 1807 CV = 13,7 N= 57 | M=59 D= 2 CV = 3,4 n= 53 | M=59 D= 5 CV = 8,5 N= 57 |
| Angico-preto | M=17347 D=2021 CV = 11,7 n= 104 | M=16325 D=3022 CV = 18,5 n=91 | M=71 D=7 CV = 9,9 n= 104 | M=70 D=8 CV = 11,4 n=91 |
| Garapeira | M=19175 D=2855 CV = 14,9 n= 58 | M=19580 D=1979 CV = 10,1 n= 56 | M=75 D=10 CV = 13,3 n= 58 | M=74 D=6 CV = 8 n= 56 |
| Cabreúva-vermelha | M= 17855 D=2108 CV = 11,8 n= 59 | M= 22250 D= 21403 CV = 9,6 n= 57 | M= 82 D= 6 CV = 6,7 n= 59 | M= 79 D= 4 CV = 5,1 n= 57 |
| Eucalipto | M=12524 D= 23464 CV = 18,8 n=159 | M=9731 D=1220 CV = 12,4 n=85 | M=36 D=4,7 CV = 13 n=159 | M=38 D=3,7 CV = 9,6 n=85 |
| Pinus | M=11325 D=8837 CV = 7,8 n=104 | M=10502 D=4073 CV = 3,9 n=51 | M=46 D=13 CV = 27,9 n=104 | M=47 D=11,0 CV = 23 n=51 |

Tabela 5.17 - Resumo da Avaliação Estatística da comparação entre os parâmetros obtidos nos corpos-de-prova de (0,03 x 0,03 x 0,09) m e de (0,05 x 0,05 x 0,15) m utilizando como amostragem apenas os corpos-de-prova isentos de defeitos.

| Espécie | Fator avaliado | P- value | Resultado |
|-------------------|------------------------|-----------------|------------------------------|
| Cerejeira | Módulo de Elasticidade | 0,77 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0.91 | Não há diferença estatística |
| Perobinha | Módulo de Elasticidade | 0.43 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0.17 | Não há diferença estatística |
| Angico-preto | Módulo de Elasticidade | 0.19 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0.16 | Não há diferença estatística |
| Garapeira | Módulo de Elasticidade | << 0.01 | Há diferença estatística |
| | Tensão | 0.12 | Não há diferença estatística |
| Pinus | Módulo de Elasticidade | 0.80 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0.37 | Não há diferença estatística |
| Eucalipto | Módulo de Elasticidade | << 0.01 | Há diferença estatística |
| | Tensão | 0.22 | Não há diferença estatística |
| Cabreúva-vermelha | Módulo de Elasticidade | 0.32 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0,28 | Não há diferença estatística |

Tabela 5.18 - Resumo da Avaliação Estatística da comparação entre os parâmetros obtidos nos corpos-de-prova de (0,03 x 0,03 x 0,09) m e de (0,05 x 0,05 x 0,15) m utilizando como amostragem todos os corpos-de-prova.

| Espécie | Fator avaliado | P- value | Resultado |
|-------------------|------------------------|-----------------|------------------------------|
| Cerejeira | Módulo de Elasticidade | 0,77 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0.91 | Não há diferença estatística |
| Perobinha | Módulo de Elasticidade | 0.44 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0.50 | Não há diferença estatística |
| Angico-preto | Módulo de Elasticidade | <<0.01 | Há diferença estatística |
| | Tensão | 0,72 | Não há diferença estatística |
| Garapeira | Módulo de Elasticidade | <<0.01 | Há diferença estatística |
| | Tensão | 0.29 | Não há diferença estatística |
| Pinus | Módulo de Elasticidade | <<0.01 | Há diferença estatística |
| | Tensão | 0.14 | Não há diferença estatística |
| Eucalipto | Módulo de Elasticidade | 0,04 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0,45 | Não há diferença estatística |
| Cabreúva-vermelha | Módulo de Elasticidade | 0.55 | Não há diferença estatística |
| | Tensão | 0.48 | Não há diferença estatística |

Em relação ao modo de ruptura observou-se que o mais freqüente no caso do corpo de prova de normalizado (tabela 5.19), foi..a do tipo 3, ou seja cisalhamento (quando a plano de ruptura forma ângulo de 45° ou mais com o topo do corpo-de-prova); enquanto que para o corpo-de-prova de 0,03 x 0,03 x 0,09 m foi. o do tipo 3 para cabreúva, cerejeira, pinus, garapeira e perobinha enquanto para o eucalipto e o angico (figura 5.20) 1 ou seja esmagamento, termo utilizado quando a ruptura é aproximadamente horizontal . Dessa forma

conclui-se que para o modelo 0,03 x 0,03 x 0,09 m o comportamento da ruptura não segue um mesmo padrão, para diferentes espécies. Esse comportamento pode estar também relacionado à maioria dos problemas durante o ensaio mecânico.

Tabela 5.19 - Frequência de ocorrência dos diferentes modos de ruptura nos corpos-de-prova normalizados 0,05 m x 0,05 m x 0,15 m

| Espécie | Modos de Ruptura | | | | |
|----------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Cabreúva | 0 | 5 | 40 | 3 | 9 |
| Cerejeira | 2 | 13 | 33 | 3 | 3 |
| Angico Preto | 12 | 14 | 37 | 9 | 19 |
| Eucalipto | 14 | 28 | 39 | 2 | 1 |
| Pinus | 2 | 1 | 32 | 0 | 1 |
| Garapeira | 16 | 12 | 18 | 2 | 8 |
| Perobinha | 0 | 19 | 26 | 3 | 8 |

Tabela 5.20 - Frequência de ocorrência dos diferentes modos de ruptura nos corpos-de-prova de 0,03 m x 0,03 m x 0,09 m

| Espécie | Modos de Ruptura | | | | |
|----------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Cabreúva | 2 | 16 | 34 | 5 | 2 |
| Cerejeira | 1 | 6 | 76 | 0 | 1 |
| Angico Preto | 51 | 8 | 28 | 3 | 13 |
| Eucalipto | 64 | 24 | 63 | 2 | 2 |
| Pinus | 36 | 1 | 45 | 1 | 0 |
| Garapeira | 19 | 6 | 27 | 0 | 7 |
| Perobinha | 0 | 8 | 39 | 2 | 2 |

As Tabelas 5.21 a 5.34 apresentam os resultados dos ensaios não destrutivos (velocidade de propagação da onda na direção longitudinal V_{LL} e constante dinâmica na direção longitudinal C_{LL}) realizados segundo a metodologia proposta no Capítulo 4, com as 7 espécies estudadas nesse trabalho e com os dois tamanhos de corpo-de-prova (0,03 x 0,03 x 0,09 m e 0,05 x 0,05 x 0,15 m). Todos os resultados se referem a ensaios realizados com o transdutor de 45 kHz, uma vez que nessa frequência dispõe-se de resultados para todas as espécies.

Tendo em vista que a grande quantidade de dados dificulta a visualização do comportamento dos resultados gerais, a Tabela 5.35 apresenta um resumo geral das médias e da variabilidade dos resultados. Neste caso (ensaios não destrutivos) optou-se somente pela apresentação dos resultados obtidos considerando todos os corpos-de-prova ensaiados, uma vez que essa amostragem é mais representativa na indicação da variação da velocidade.

Observando-se os valores contidos na Tabela 5.35 verifica-se que, em média, a relação entre a velocidade de propagação das ondas (V_{LL}) no corpo-de-prova 0,05 x 0,05 x 0,15 m e 0,03 x 0,03 x 0,09 m foi de 0,99, sendo as máximas e mínimas relações de 1,02 e 0,93, respectivamente. Em relação aos resultados da constante dinâmica (C_{LL}), a relação média foi de 0,95 e as máximas e mínimas de 1,05 e 0,83, respectivamente. Esses resultados são próximos dos obtidos para as variáveis obtidas no ensaio destrutivo (módulo de elasticidade e tensão de ruptura).

Em relação à variabilidade da velocidade e da constante dinâmica houve uma tendência de aumento quando o corpo-de-prova passa de 0,03 x 0,03 x 0,09m para 0,05 x 0,05 x 0,15 m, exceto para a garapeira em C_{LL} e para o pinus e eucalipto (C_{LL} e V_{LL}) quando a variabilidade foi maior para o corpo-de-prova de 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Esses resultados pode estar relacionado à sensibilidade do ultra-som na detecção de defeitos internos (não perceptíveis na análise visual).

Cuja frequência de ocorrência é maior no corpo-de-prova de 0,05 x 0,05 m .

Tabela 5.21 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cerejeira 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 | 4783 | 610 | 12,1 | 13965 |
| 2 | 4729 | 604 | 12,4 | 13508 |
| 3 | 4918 | 582 | 12,9 | 14067 |
| 4 | 4788 | 602 | 12,2 | 13810 |
| 5 | 4733 | 598 | 12,1 | 13396 |
| 6 | 4897 | 566 | 11,8 | 13584 |
| 7 | 4794 | 591 | 12,7 | 13585 |
| 8 | 5033 | 566 | 11,9 | 14349 |
| 9 | 4788 | 613 | 12,5 | 14064 |
| 10 | 4819 | 596 | 12,4 | 13846 |
| 11 | 4743 | 599 | 12,1 | 13480 |
| 12 | 4743 | 599 | 12,1 | 13480 |
| 13 | 4978 | 572 | 11,9 | 14167 |
| 14 | 4747 | 601 | 11,9 | 13541 |
| 15 | 4978 | 590 | 11,9 | 14611 |
| 16 | 5176 | 610 | 12 | 16338 |
| 17 | 4830 | 587 | 12 | 13695 |
| 18 | 5266 | 605 | 12 | 16768 |
| 19 | 5147 | 655 | 12,2 | 17354 |
| 20 | 5090 | 649 | 12,6 | 16808 |
| 21 | 4866 | 622 | 12,6 | 14739 |
| 22 | 5329 | 636 | 12 | 18061 |
| 23 | 5089 | 627 | 13,2 | 16246 |
| 24 | 4978 | 620 | 11,8 | 15357 |
| 25 | 5033 | 617 | 12,5 | 15640 |
| 26 | 5148 | 603 | 12,2 | 15990 |
| 27 | 5385 | 630 | 13,3 | 18255 |
| 28 | 4815 | 612 | 12,5 | 14188 |
| 29 | 4819 | 612 | 12,6 | 14211 |
| 30 | 4500 | 522 | 10,6 | 10579 |
| 31 | 5130 | 619 | 12,9 | 16287 |
| 32 | 5170 | 624 | 12,5 | 16684 |
| 33 | 4804 | 615 | 12,6 | 14197 |
| 34 | 5112 | 631 | 13,2 | 16500 |
| 35 | 5141 | 642 | 13,9 | 16964 |
| 36 | 5464 | 616 | 13 | 18396 |
| 37 | 5431 | 623 | 13,6 | 18374 |
| 38 | 5107 | 661 | 13,6 | 17238 |
| 39 | 5170 | 633 | 13,3 | 16914 |
| 40 | 5112 | 639 | 12,8 | 16712 |
| 41 | 5503 | 626 | 12,7 | 18951 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 42 | 5130 | 607 | 12,8 | 15985 |
| 43 | 5241 | 628 | 13,1 | 17241 |
| 44 | 5200 | 657 | 13,3 | 17760 |
| 45 | 4485 | 527 | 9,4 | 10603 |
| 46 | 5279 | 616 | 12,8 | 17161 |
| 47 | 4866 | 643 | 12,8 | 15236 |
| 48 | 5361 | 606 | 12,4 | 17402 |
| 49 | 4485 | 533 | 10,2 | 10724 |
| 50 | 5176 | 614 | 11,6 | 16456 |
| 51 | 5605 | 608 | 12,1 | 19094 |
| 52 | 5634 | 624 | 13,1 | 19791 |
| 53 | 4795 | 619 | 12,5 | 14231 |
| 54 | 4530 | 536 | 11,3 | 10991 |
| 55 | 4876 | 623 | 12,7 | 14817 |
| 56 | 5218 | 636 | 12 | 17325 |
| 57 | 4804 | 604 | 11,9 | 13936 |
| 58 | 5176 | 653 | 12,5 | 17485 |
| 59 | 5515 | 618 | 13 | 18785 |
| 60 | 4845 | 626 | 12 | 14701 |
| 61 | 4919 | 617 | 12,7 | 14926 |
| 62 | 4892 | 614 | 11,8 | 14690 |
| 63 | 5096 | 642 | 12,2 | 16659 |
| 64 | 5393 | 608 | 12,3 | 17668 |
| 65 | 4940 | 626 | 12,6 | 15288 |
| 66 | 4507 | 531 | 10,6 | 10797 |
| 67 | 4946 | 679 | 12,8 | 16601 |
| 68 | 4794 | 609 | 12,1 | 13987 |
| 69 | 5182 | 612 | 12,5 | 16420 |
| 70 | 5201 | 608 | 12,3 | 16453 |
| 71 | 5130 | 645 | 12,6 | 16982 |
| 72 | 5361 | 596 | 12,6 | 17115 |
| 73 | 4768 | 596 | 11,5 | 13549 |
| 74 | 5056 | 648 | 13,2 | 16549 |
| 75 | 5586 | 627 | 12,4 | 19558 |
| 76 | 5061 | 616 | 11,9 | 15768 |
| 77 | 4946 | 613 | 11,8 | 14984 |
| 78 | 5213 | 594 | 12,4 | 16140 |
| 79 | 4576 | 698 | 12,6 | 14614 |
| 80 | 5000 | 624 | 11,8 | 15595 |
| 81 | 5292 | 617 | 12,6 | 17285 |
| 82 | 4759 | 610 | 11,8 | 13814 |
| 83 | 5381 | 615 | 12,3 | 17804 |
| 84 | 4866 | 630 | 12,3 | 14924 |
| média | 5026 | 613 | 12,3 | 15557 |

Tabela 5.22 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cerejeira 0,05 x 0,05 x 0,15 m. Transdutor de 45 kHz.

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 3 | 4681 | 562 | 12,3 | 12311 |
| 4 | 4699 | 575 | 10,2 | 12693 |
| 5 | 4610 | 560 | 12,3 | 11904 |
| 6 | 4607 | 568 | 12 | 12043 |
| 7 | 4554 | 554 | 11,5 | 11493 |
| 8 | 4585 | 559 | 12,5 | 11755 |
| 9 | 4652 | 562 | 12,5 | 12160 |
| 10 | 4624 | 559 | 11,8 | 11951 |
| 11 | 4641 | 563 | 12,3 | 12136 |
| 12 | 4585 | 553 | 10,5 | 11616 |
| 13 | 4591 | 549 | 12 | 11580 |
| 14 | 4623 | 566 | 12,5 | 12099 |
| 15 | 4584 | 553 | 11,9 | 11624 |
| 16 | 4724 | 572 | 12,5 | 12775 |
| 17 | 4778 | 574 | 12 | 13094 |
| 18 | 4763 | 585 | 12,5 | 13260 |
| 19 | 4591 | 556 | 11,8 | 11721 |
| 20 | 5154 | 569 | 11 | 15123 |
| 21 | 5226 | 588 | 12,1 | 16068 |
| 22 | 4812 | 570 | 12,3 | 13184 |
| 23 | 4617 | 562 | 12,1 | 11986 |
| 24 | 4609 | 549 | 12,1 | 11656 |
| 25 | 4709 | 567 | 13,4 | 12569 |
| 28 | 4741 | 583 | 13,2 | 13113 |
| 29 | 4820 | 564 | 13,7 | 13089 |
| 30 | 4820 | 612 | 13,5 | 14226 |
| 31 | 4894 | 594 | 14,1 | 14220 |
| 32 | 4683 | 637 | 15,4 | 13968 |
| 33 | 4738 | 724 | 12,8 | 16252 |
| 34 | 4542 | 575 | 13,2 | 11856 |
| 35 | 4770 | 601 | 13 | 13672 |
| 36 | 4884 | 581 | 13,3 | 13861 |
| 37 | 1466 | 576 | 13 | 1238 |
| 38 | 4812 | 588 | 13,6 | 13618 |
| 39 | 4748 | 574 | 11 | 12945 |
| 40 | 4766 | 583 | 13,1 | 13243 |
| 41 | 4747 | 607 | 14 | 13682 |
| 42 | 4888 | 596 | 13,6 | 14244 |
| 43 | 4780 | 571 | 13,2 | 13050 |
| 44 | 4866 | 616 | 14,2 | 14580 |
| 45 | 4643 | 571 | 12,9 | 12300 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 46 | 4646 | 573 | 13,7 | 12366 |
| 47 | 4745 | 609 | 13,7 | 13702 |
| 48 | 4890 | 619 | 13,1 | 14806 |
| 49 | 4668 | 592 | 13,3 | 12898 |
| 50 | 4649 | 571 | 12,8 | 12352 |
| 51 | 4860 | 600 | 13,6 | 14171 |
| 52 | 4849 | 586 | 11,6 | 13769 |
| 53 | 4674 | 599 | 13,5 | 13074 |
| 54 | 4888 | 559 | 11,5 | 13355 |
| 55 | 4727 | 568 | 13,2 | 12699 |
| 56 | 4745 | 584 | 14,1 | 13157 |
| 57 | 4759 | 573 | 13 | 12973 |
| 58 | 4872 | 579 | 13,6 | 13737 |
| 59 | 4755 | 574 | 14,2 | 12976 |
| média | 4679 | 580 | 12,8 | 12836 |

Tabela 5.23 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Perobinha 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 | 5072 | 691 | 10,8 | 17778 |
| 2 | 5072 | 653 | 10,8 | 16800 |
| 3 | 4957 | 708 | 10,8 | 17394 |
| 4 | 5039 | 702 | 10,8 | 17823 |
| 5 | 5022 | 654 | 10,8 | 16494 |
| 6 | 5067 | 676 | 10,8 | 17354 |
| 7 | 4914 | 765 | 10,8 | 18473 |
| 8 | 5188 | 690 | 10,8 | 18568 |
| 9 | 5055 | 676 | 10,8 | 17276 |
| 10 | 5211 | 678 | 10,8 | 18414 |
| 11 | 4967 | 702 | 10,8 | 17322 |
| 12 | 5083 | 650 | 10,8 | 16796 |
| 13 | 5055 | 668 | 10,8 | 17071 |
| 14 | 5129 | 683 | 10,8 | 17969 |
| 15 | 4856 | 725 | 10,8 | 17099 |
| 16 | 5101 | 684 | 10,8 | 17795 |
| 17 | 4914 | 698 | 10,8 | 16855 |
| 18 | 5217 | 670 | 10,8 | 18236 |
| 19 | 5253 | 665 | 10,8 | 18349 |
| 20 | 5112 | 679 | 10,8 | 17742 |
| 21 | 4967 | 680 | 10,8 | 16779 |
| 22 | 5027 | 697 | 10,8 | 17617 |
| 23 | 5078 | 663 | 10,8 | 17095 |
| 24 | 5106 | 666 | 10,8 | 17364 |
| 25 | 5027 | 690 | 10,8 | 17440 |
| 26 | 5005 | 699 | 10,8 | 17513 |
| 27 | 4930 | 690 | 10,8 | 16769 |
| 28 | 5135 | 659 | 10,8 | 17376 |
| 29 | 5188 | 671 | 10,8 | 18057 |
| 30 | 5106 | 679 | 10,8 | 17703 |
| 31 | 5135 | 686 | 10,8 | 18087 |
| 32 | 5072 | 669 | 10,8 | 17212 |
| 33 | 4914 | 726 | 10,8 | 17531 |
| 35 | 5022 | 665 | 10,8 | 16771 |
| 36 | 5022 | 692 | 10,8 | 17452 |
| 37 | 5072 | 650 | 10,8 | 16720 |
| 38 | 4888 | 793 | 10,8 | 18944 |
| 39 | 5016 | 665 | 10,8 | 16735 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 40 | 4995 | 694 | 10,8 | 17312 |
| 41 | 5055 | 652 | 10,8 | 16662 |
| 42 | 5055 | 716 | 10,8 | 18298 |
| 43 | 5314 | 680 | 10,8 | 19202 |
| 44 | 4914 | 739 | 10,8 | 17845 |
| 45 | 5022 | 677 | 10,8 | 17074 |
| 46 | 4836 | 734 | 10,8 | 17166 |
| 47 | 5022 | 675 | 10,8 | 17024 |
| 48 | 5083 | 654 | 10,8 | 16900 |
| 49 | 5193 | 674 | 10,8 | 18177 |
| 50 | 5223 | 680 | 10,8 | 18549 |
| 51 | 5083 | 649 | 10,8 | 16770 |
| 52 | 5072 | 720 | 10,8 | 18524 |
| 53 | 5044 | 660 | 10,8 | 16793 |
| 54 | 5158 | 681 | 10,8 | 18119 |
| média | 5058 | 686 | 10,8 | 17532 |

Tabela 5.24 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Perobinha 0,05 x 0,05 x 0,15 m. Transdutor de 45 kHz.

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 | 4840 | 731 | 10,8 | 17126 |
| 2 | 4964 | 777 | 10,8 | 19146 |
| 3 | 4702 | 636 | 10,8 | 14060 |
| 4 | 5047 | 676 | 10,8 | 17217 |
| 5 | 5000 | 767 | 10,8 | 19175 |
| 6 | 4746 | 809 | 10,8 | 18223 |
| 7 | 4582 | 669 | 10,8 | 14044 |
| 9 | 4743 | 653 | 10,8 | 14690 |
| 10 | 4887 | 735 | 10,8 | 17555 |
| 11 | 4980 | 767 | 10,8 | 19024 |
| 12 | 5010 | 661 | 10,8 | 16591 |
| 13 | 4755 | 657 | 10,8 | 14853 |
| 14 | 4713 | 724 | 10,8 | 16084 |
| 15 | 4723 | 631 | 10,8 | 14074 |
| 16 | 4720 | 654 | 10,8 | 14568 |
| 17 | 5007 | 731 | 10,8 | 18323 |
| 18 | 5013 | 659 | 10,8 | 16562 |
| 19 | 5067 | 756 | 10,8 | 19409 |
| 20 | 5037 | 740 | 10,8 | 18772 |
| 21 | 5047 | 712 | 10,8 | 18134 |
| 23 | 4984 | 660 | 10,8 | 16392 |
| 24 | 4831 | 832 | 10,8 | 19419 |
| 25 | 4951 | 664 | 10,8 | 16276 |
| 26 | 4980 | 768 | 10,8 | 19049 |
| 27 | 5119 | 661 | 10,8 | 17319 |
| 28 | 5094 | 663 | 10,8 | 17206 |
| 29 | 5003 | 700 | 10,8 | 17523 |
| 30 | 4803 | 657 | 10,8 | 15157 |
| 31 | 4868 | 713 | 10,8 | 16897 |
| 32 | 4770 | 389 | 10,8 | 8850 |
| 33 | 4912 | 748 | 10,8 | 18050 |
| 34 | 5007 | 654 | 10,8 | 16393 |
| 35 | 5033 | 706 | 10,8 | 17885 |
| 36 | 4743 | 656 | 10,8 | 14757 |
| 37 | 4909 | 728 | 10,8 | 17544 |
| 38 | 4944 | 697 | 10,8 | 17040 |
| 39 | 4734 | 646 | 10,8 | 14480 |
| 40 | 5060 | 670 | 10,8 | 17156 |
| 41 | 4868 | 692 | 10,8 | 16400 |
| 42 | 5030 | 699 | 10,8 | 17685 |
| 43 | 5118 | 702 | 10,8 | 18390 |
| 44 | 4679 | 640 | 10,8 | 14012 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 45 | 4887 | 799 | 10,8 | 19083 |
| 46 | 4749 | 777 | 10,8 | 17525 |
| 47 | 4993 | 679 | 10,8 | 16930 |
| 49 | 5111 | 659 | 10,8 | 17218 |
| 50 | 5104 | 658 | 10,8 | 17144 |
| 51 | 4853 | 731 | 10,8 | 17213 |
| 52 | 4616 | 646 | 10,8 | 13764 |
| 53 | 4782 | 720 | 10,8 | 16467 |
| 54 | 4818 | 646 | 10,8 | 14999 |
| 55 | 5030 | 773 | 10,8 | 19557 |
| 56 | 4987 | 680 | 10,8 | 16910 |
| 57 | 5050 | 663 | 10,8 | 16909 |
| 58 | 5064 | 744 | 10,8 | 19076 |
| 59 | 5000 | 690 | 10,8 | 17250 |
| 60 | 4919 | 787 | 10,8 | 19041 |
| média | 4912 | 697 | 10,8 | 16853 |

Tabela 5.25 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Angico-preto 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 11 | 5167 | 1012 | 12,2 | 27007 |
| 21 | 5221 | 1031 | 12,5 | 28098 |
| 31 | 5136 | 1031 | 12,6 | 27210 |
| 41 | 5028 | 1035 | 11,2 | 26172 |
| 51 | 5084 | 1024 | 10,9 | 26477 |
| 61 | 5160 | 1010 | 11,1 | 26888 |
| 71 | 5160 | 1024 | 12,1 | 27269 |
| 81 | 5061 | 1038 | 11,5 | 26604 |
| 91 | 5050 | 1024 | 12,1 | 26118 |
| 102 | 4967 | 1057 | 12,5 | 26079 |
| 112 | 4834 | 1075 | 12,4 | 25128 |
| 122 | 4809 | 1040 | 10,9 | 24037 |
| 132 | 5022 | 1049 | 11,3 | 26461 |
| 142 | 5090 | 1065 | 12,1 | 27597 |
| 152 | 5119 | 1053 | 11,5 | 27605 |
| 172 | 4908 | 1079 | 11,7 | 25982 |
| 182 | 5119 | 1044 | 11,9 | 27353 |
| 193 | 5039 | 956 | 10,8 | 24264 |
| 203 | 4876 | 1024 | 12,1 | 24340 |
| 223 | 5079 | 954 | 9,8 | 24603 |
| 233 | 4772 | 1012 | 10,8 | 23049 |
| 243 | 5178 | 915 | 10,7 | 24522 |
| 263 | 5131 | 902 | 11 | 23749 |
| 273 | 4962 | 923 | 10 | 22718 |
| 294 | 5419 | 887 | 10,5 | 26059 |
| 304 | 5464 | 859 | 9,1 | 25654 |
| 314 | 5250 | 871 | 10 | 24016 |
| 324 | 5434 | 903 | 9,4 | 26660 |
| 334 | 5195 | 879 | 10 | 23715 |
| 344 | 4886 | 933 | 9,7 | 22289 |
| 354 | 5142 | 993 | 11,1 | 26248 |
| 364 | 5225 | 1000 | 11,3 | 27306 |
| 375 | 5154 | 833 | 9,6 | 22140 |
| 385 | 5473 | 924 | 9,7 | 27664 |
| 395 | 5250 | 859 | 9,1 | 23663 |
| 405 | 5214 | 834 | 9,5 | 22682 |
| 415 | 5387 | 816 | 9,3 | 23668 |
| 425 | 5361 | 909 | 9,5 | 26136 |
| 435 | 5473 | 859 | 9,7 | 25726 |
| 445 | 5329 | 850 | 9,8 | 24147 |
| 455 | 5281 | 918 | 10,2 | 25613 |
| 466 | 4798 | 1073 | 11,5 | 24692 |

| | | | | |
|-------|------|------|------|-------|
| 476 | 5073 | 1060 | 11,5 | 27285 |
| 486 | 5050 | 1060 | 11,4 | 27037 |
| 506 | 4747 | 1064 | 11,9 | 23973 |
| 527 | 4908 | 1016 | 12,9 | 24474 |
| 537 | 4809 | 1017 | 12,2 | 23517 |
| 547 | 4597 | 963 | 11,8 | 20358 |
| 557 | 4738 | 989 | 11,5 | 22194 |
| 567 | 4834 | 983 | 11,5 | 22971 |
| 577 | 4829 | 1005 | 12,2 | 23430 |
| 587 | 4840 | 1006 | 11,5 | 23562 |
| 607 | 4646 | 966 | 11,2 | 20850 |
| 628 | 5294 | 789 | 9,8 | 22102 |
| 638 | 5039 | 720 | 9,2 | 18287 |
| 658 | 5446 | 968 | 9,4 | 28710 |
| 668 | 5381 | 967 | 11,5 | 28008 |
| 678 | 5473 | 963 | 11,1 | 28836 |
| 688 | 5287 | 965 | 11,2 | 26961 |
| 698 | 5114 | 1222 | 14,5 | 31967 |
| 708 | 4639 | 1227 | 13,7 | 26415 |
| 718 | 4691 | 1214 | 12,2 | 26709 |
| 728 | 4036 | 1204 | 13,6 | 19617 |
| 738 | 5056 | 1218 | 13,8 | 31150 |
| 748 | 5361 | 997 | 11,8 | 28656 |
| 758 | 5324 | 962 | 11,3 | 27258 |
| 768 | 5452 | 965 | 11,3 | 28676 |
| 778 | 4962 | 982 | 11,3 | 24172 |
| 7810 | 5056 | 926 | 11,1 | 23661 |
| 7910 | 4551 | 1093 | 12,7 | 22632 |
| 8211 | 5306 | 1004 | 10,7 | 28267 |
| 8311 | 5434 | 906 | 10,1 | 26765 |
| 8411 | 5269 | 895 | 10,1 | 24854 |
| 8511 | 5325 | 933 | 10,3 | 26453 |
| 8611 | 5389 | 1010 | 12 | 29343 |
| 8711 | 5488 | 940 | 11 | 28307 |
| 8811 | 5333 | 1011 | 9,8 | 28766 |
| 8911 | 5292 | 900 | 10,9 | 25196 |
| 9011 | 5428 | 914 | 10,3 | 26935 |
| 9112 | 5337 | 1007 | 11,5 | 28693 |
| 9212 | 4782 | 1056 | 11,8 | 24150 |
| 9312 | 4902 | 1058 | 11,9 | 25414 |
| 9412 | 4902 | 1048 | 11,4 | 25174 |
| 9512 | 4793 | 1095 | 12,1 | 25148 |
| 9612 | 5028 | 1058 | 11,3 | 26738 |
| 9712 | 4907 | 1074 | 11,7 | 25857 |
| 9812 | 4865 | 1061 | 11,9 | 25115 |
| 10113 | 5269 | 954 | 10,8 | 26475 |
| 10213 | 5467 | 948 | 10 | 28328 |
| 10313 | 5067 | 826 | 9,6 | 21216 |
| 10413 | 5556 | 927 | 9,8 | 28616 |
| 10513 | 5590 | 930 | 10,3 | 29073 |
| 10713 | 4913 | 839 | 10,5 | 20258 |
| 10814 | 5288 | 902 | 10,8 | 25232 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-----------|--------------|
| 10914 | 5300 | 888 | 10 | 24938 |
| 11014 | 5137 | 880 | 9,8 | 23228 |
| 11115 | 5214 | 1093 | 11,9 | 29702 |
| 11215 | 5325 | 1057 | 11,6 | 29982 |
| 11315 | 5269 | 1073 | 10 | 29791 |
| 11415 | 5244 | 1071 | 9,8 | 29455 |
| 11515 | 5197 | 1089 | 10,9 | 29404 |
| 11616 | 5455 | 965 | 9,6 | 28705 |
| 11716 | 5482 | 976 | 10,3 | 29331 |
| 11816 | 5389 | 950 | 9,5 | 27605 |
| média | 5124 | 985 | 11 | 25802 |

Tabela 5.26 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Angico-preto 0,05 x 0,05 x 0,15 cm. Transdutor de 45 kHz.

| Cp | V_{LL} | densidade | umidade | C_{LL} |
|-----------|----------------------------|-------------------------|----------------|----------------------------|
| | m/s | kg/m³ | % | MPa |
| 11 | 5217 | 954 | 10 | 25955 |
| 21 | 5119 | 967 | 11,4 | 25340 |
| 31 | 5170 | 919 | 10,8 | 24560 |
| 41 | 5162 | 976 | 10,7 | 26002 |
| 52 | 4740 | 1036 | 11 | 23272 |
| 62 | 4934 | 1063 | 11,8 | 25883 |
| 72 | 4749 | 1022 | 12,1 | 23060 |
| 82 | 4882 | 1031 | 12 | 24580 |
| 92 | 5010 | 1050 | 10,5 | 26356 |
| 102 | 4918 | 1063 | 11,5 | 25711 |
| 112 | 4669 | 1025 | 10,3 | 22350 |
| 122 | 5023 | 1041 | 12 | 26278 |
| 133 | 5209 | 927 | 13,1 | 25161 |
| 143 | 4792 | 1024 | 10,6 | 23513 |
| 153 | 5206 | 911 | 10,8 | 24681 |
| 163 | 5131 | 925 | 10,7 | 24354 |
| 173 | 5187 | 906 | 9,8 | 24378 |
| 183 | 4780 | 1026 | 10,8 | 23442 |
| 193 | 4814 | 1008 | 10,8 | 23363 |
| 214 | 4282 | 924 | 10,5 | 16942 |
| 224 | 4674 | 950 | 10,2 | 20755 |
| 234 | 3574 | 958 | 10,2 | 12236 |
| 244 | 5348 | 952 | 10,4 | 27217 |
| 254 | 4970 | 935 | 11,7 | 23103 |
| 264 | 5123 | 957 | 10,6 | 25117 |
| 295 | 5102 | 934 | 10,2 | 24325 |
| 305 | 5159 | 917 | 10,5 | 24399 |
| 315 | 5194 | 869 | 10,1 | 23437 |
| 325 | 5279 | 861 | 10,1 | 24003 |
| 335 | 4795 | 1006 | 11,2 | 23118 |
| 345 | 5268 | 824 | 10,1 | 22859 |
| 355 | 5020 | 918 | 10,9 | 23147 |
| 365 | 5159 | 907 | 11,1 | 24150 |
| 376 | 5037 | 1065 | 12,6 | 27033 |
| 386 | 4851 | 1049 | 12,3 | 24682 |
| 416 | 4776 | 1059 | 13 | 24159 |
| 426 | 4814 | 1067 | 12 | 24715 |
| 436 | 4728 | 1085 | 13,7 | 24243 |
| 446 | 5041 | 1056 | 12,2 | 26825 |
| 457 | 4669 | 1015 | 10,4 | 22122 |
| 467 | 4571 | 1014 | 11,5 | 21177 |
| 477 | 4728 | 985 | 10,5 | 22025 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 487 | 4746 | 988 | 11,6 | 22250 |
| 497 | 4801 | 1019 | 11,6 | 23490 |
| 507 | 4512 | 987 | 10,6 | 20091 |
| 517 | 4983 | 1022 | 11,6 | 25375 |
| 527 | 4508 | 1012 | 10,1 | 20556 |
| 537 | 5010 | 1035 | 11,8 | 25990 |
| 547 | 4832 | 1019 | 11 | 23782 |
| 557 | 5041 | 1020 | 11,4 | 25923 |
| 567 | 4544 | 1010 | 11,7 | 20843 |
| 577 | 4529 | 1004 | 11,9 | 20596 |
| 587 | 4675 | 1000 | 12,1 | 21853 |
| 598 | 5169 | 832 | 9,4 | 22228 |
| 608 | 5366 | 910 | 9,4 | 26201 |
| 618 | 5127 | 825 | 9,4 | 21672 |
| 628 | 5336 | 964 | 11,3 | 27432 |
| 638 | 5440 | 978 | 11 | 28937 |
| 648 | 5485 | 942 | 11,2 | 28335 |
| 658 | 5460 | 978 | 12,2 | 29142 |
| 668 | 5376 | 932 | 12,4 | 26932 |
| 678 | 5144 | 825 | 9,9 | 21825 |
| 688 | 5433 | 940 | 11,5 | 27741 |
| 698 | 5206 | 949 | 11,3 | 25723 |
| 7010 | 4650 | 1006 | 11,8 | 21762 |
| 7110 | 5354 | 988 | 11,5 | 28328 |
| 7211 | 5201 | 1028 | 12,3 | 27810 |
| 7311 | 4954 | 1166 | 12,4 | 28619 |
| 7411 | 5127 | 1083 | 12,3 | 28461 |
| 7511 | 4814 | 1117 | 12 | 25883 |
| 7611 | 5387 | 939 | 11,6 | 27260 |
| 7711 | 5297 | 1001 | 11 | 28086 |
| 7811 | 5556 | 977 | 11,8 | 30164 |
| 7911 | 5345 | 891 | 10,9 | 25448 |
| 8012 | 4416 | 1120 | 11,8 | 21844 |
| 8012 | 4854 | 1151 | 12,9 | 27117 |
| 8213 | 5576 | 991 | 11 | 30805 |
| 8413 | 5618 | 953 | 11 | 30084 |
| 8513 | 5576 | 954 | 11,8 | 29656 |
| 8614 | 5366 | 948 | 11,3 | 27296 |
| 8614 | 5307 | 961 | 11 | 27075 |
| 8814 | 5201 | 937 | 11,7 | 25340 |
| 8914 | 5130 | 836 | 10,5 | 21990 |
| 9019 | 5396 | 941 | 11,2 | 27394 |
| 9119 | 5529 | 955 | 11,3 | 29211 |
| 9220 | 5388 | 1055 | 12,6 | 30640 |
| 9320 | 5415 | 1066 | 13,2 | 31272 |
| 9420 | 5515 | 1049 | 11,1 | 31908 |
| 9520 | 5263 | 1062 | 11,6 | 29428 |
| 9620 | 5208 | 1073 | 12,7 | 29098 |
| 9720 | 5291 | 1081 | 12,4 | 30270 |
| média | 5048 | 986 | 11,3 | 25156 |

Tabela 5.27 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cabreúva-vermelha 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 | 4967 | 974 | 10,6 | 24033 |
| 3 | 4984 | 975 | 10,6 | 24215 |
| 4 | 5050 | 1008 | 10,6 | 25704 |
| 5 | 5193 | 994 | 10,6 | 26807 |
| 6 | 5241 | 973 | 10,6 | 26730 |
| 7 | 4914 | 991 | 10,6 | 23930 |
| 8 | 4930 | 993 | 10,6 | 24132 |
| 9 | 5314 | 1014 | 10,6 | 28633 |
| 10 | 4967 | 979 | 10,6 | 24157 |
| 11 | 4914 | 947 | 10,6 | 22867 |
| 12 | 5169 | 963 | 10,6 | 25735 |
| 13 | 5101 | 960 | 10,6 | 24975 |
| 14 | 4995 | 954 | 10,6 | 23798 |
| 15 | 5044 | 980 | 10,6 | 24935 |
| 16 | 5199 | 979 | 10,6 | 26461 |
| 17 | 5135 | 990 | 10,6 | 26103 |
| 18 | 5044 | 1002 | 10,6 | 25495 |
| 19 | 5193 | 1007 | 10,6 | 27158 |
| 20 | 5078 | 984 | 10,6 | 25371 |
| 21 | 5044 | 976 | 10,6 | 24833 |
| 22 | 5135 | 951 | 10,6 | 25075 |
| 23 | 4995 | 986 | 10,6 | 24596 |
| 24 | 4914 | 995 | 10,6 | 24026 |
| 25 | 5078 | 996 | 10,6 | 25681 |
| 26 | 4957 | 986 | 10,6 | 24223 |
| 27 | 5199 | 999 | 10,6 | 27001 |
| 28 | 5164 | 1013 | 10,6 | 27012 |
| 29 | 5129 | 967 | 10,6 | 25441 |
| 30 | 5169 | 1025 | 10,6 | 27392 |
| 31 | 5320 | 1001 | 10,6 | 28328 |
| 32 | 5072 | 995 | 10,6 | 25599 |
| 33 | 5050 | 966 | 10,6 | 24633 |
| 34 | 4989 | 968 | 10,6 | 24094 |
| 35 | 5101 | 965 | 10,6 | 25105 |
| 36 | 4746 | 1142 | 10,6 | 25724 |
| 37 | 4957 | 954 | 10,6 | 23437 |
| 38 | 4935 | 956 | 10,6 | 23284 |
| 39 | 5217 | 974 | 10,6 | 26511 |
| 40 | 5055 | 961 | 10,6 | 24559 |
| 41 | 5078 | 990 | 10,6 | 25526 |
| 42 | 4888 | 1048 | 10,6 | 25036 |
| 43 | 5016 | 943 | 10,6 | 23731 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 44 | 4989 | 944 | 10,6 | 23497 |
| 45 | 5285 | 978 | 10,6 | 27315 |
| 46 | 5011 | 968 | 10,6 | 24307 |
| 47 | 5241 | 1008 | 10,6 | 27692 |
| 48 | 4973 | 991 | 10,6 | 24506 |
| 49 | 4973 | 953 | 10,6 | 23567 |
| 50 | 5188 | 958 | 10,6 | 25780 |
| 51 | 5022 | 944 | 10,6 | 23808 |
| 52 | 4967 | 952 | 10,6 | 23491 |
| 53 | 5188 | 1010 | 10,6 | 27179 |
| 54 | 5101 | 974 | 10,6 | 25339 |
| 55 | 4935 | 1021 | 10,6 | 24867 |
| 56 | 5129 | 1010 | 10,6 | 26572 |
| 57 | 4962 | 987 | 10,6 | 24301 |
| 58 | 5129 | 1000 | 10,6 | 26309 |
| 59 | 4984 | 1048 | 10,6 | 26029 |
| 60 | | 1002 | 10,6 | |
| média | 5064 | 986 | 10,6 | 25287 |

Tabela 5.28 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Cabreúva-vermelha 0,05 x 0,05 x 0,15 m. Transdutor de 45 kHz.

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 | 5331 | 998 | 10,6 | 28363 |
| 2 | 5309 | 1021 | 10,6 | 28770 |
| 3 | 5272 | 1001 | 10,6 | 27826 |
| 4 | 5279 | 1031 | 10,6 | 28724 |
| 5 | 5232 | 1002 | 10,6 | 27421 |
| 6 | 5381 | 987 | 10,6 | 28590 |
| 7 | 5414 | 982 | 10,6 | 28779 |
| 8 | 5282 | 1044 | 10,6 | 29134 |
| 9 | 5290 | 1029 | 10,6 | 28793 |
| 10 | 5178 | 1010 | 10,6 | 27073 |
| 11 | 5214 | 983 | 10,6 | 26718 |
| 12 | 4964 | 961 | 10,6 | 23674 |
| 13 | 5040 | 977 | 10,6 | 24817 |
| 14 | 5091 | 992 | 10,6 | 25711 |
| 15 | 4868 | 984 | 10,6 | 23312 |
| 16 | 4912 | 979 | 10,6 | 23620 |
| 17 | 4890 | 965 | 10,6 | 23074 |
| 18 | 4906 | 961 | 10,6 | 23133 |
| 19 | 5087 | 965 | 10,6 | 24974 |
| 20 | 5007 | 956 | 10,6 | 23967 |
| 21 | 4849 | 1016 | 10,6 | 23903 |
| 22 | 5316 | 985 | 10,6 | 27841 |
| 23 | 5171 | 1011 | 10,6 | 27035 |
| 24 | 4881 | 982 | 10,6 | 23404 |
| 25 | 5235 | 1007 | 10,6 | 27613 |
| 26 | 5362 | 1050 | 10,6 | 30172 |
| 27 | 5290 | 1025 | 10,6 | 28683 |
| 29 | 5239 | 974 | 10,6 | 26724 |
| 30 | 5203 | 1022 | 10,6 | 27660 |
| 31 | 5111 | 1050 | 10,6 | 27431 |
| 32 | 5257 | 987 | 10,6 | 27264 |
| 33 | 4990 | 960 | 10,6 | 23902 |
| 34 | 5164 | 1032 | 10,6 | 27513 |
| 35 | 5309 | 1031 | 10,6 | 29053 |
| 36 | 4932 | 981 | 10,6 | 23863 |
| 37 | 4925 | 989 | 10,6 | 23997 |
| 38 | 5203 | 973 | 10,6 | 26348 |
| 39 | 5003 | 964 | 10,6 | 24136 |
| 40 | 5020 | 968 | 10,6 | 24389 |
| 41 | 5104 | 1014 | 10,6 | 26427 |
| 43 | 4922 | 963 | 10,6 | 23321 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 44 | 5275 | 1028 | 10,6 | 28594 |
| 45 | 5203 | 984 | 10,6 | 26630 |
| 46 | 5203 | 1043 | 10,6 | 28238 |
| 48 | 5150 | 967 | 10,6 | 25655 |
| 49 | 5217 | 993 | 10,6 | 27028 |
| 50 | 5331 | 1011 | 10,6 | 28729 |
| 51 | 5239 | 985 | 10,6 | 27036 |
| 52 | 5369 | 1042 | 10,6 | 30046 |
| 53 | 5294 | 983 | 10,6 | 27558 |
| 54 | 4916 | 955 | 10,6 | 23082 |
| 55 | 5272 | 1055 | 10,6 | 29331 |
| 56 | 5188 | 1012 | 10,6 | 27230 |
| 57 | 5346 | 1042 | 10,6 | 29770 |
| 58 | 5146 | 963 | 10,6 | 25506 |
| 59 | 5338 | 1043 | 10,6 | 29718 |
| 60 | 5139 | 1017 | 10,6 | 26858 |
| média | 5159 | 999 | 10,6 | 26634 |

Tabela 5.29 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Garapeira 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1A | 5102 | 901 | 12,5 | 23450 |
| 3A | 5250 | 893 | 12,7 | 24609 |
| 4A | 5225 | 908 | 12,4 | 24790 |
| 5A | 4934 | 881 | 11,8 | 21459 |
| 6A | 5171 | 897 | 11,2 | 23995 |
| 7A | 5084 | 901 | 11,2 | 23291 |
| 8A | 5225 | 884 | 11,4 | 24126 |
| 9A | 5195 | 889 | 12,5 | 24005 |
| 10A | 5171 | 880 | 11,8 | 23528 |
| 11A | 5195 | 901 | 12,3 | 24313 |
| 12B | 5201 | 819 | 11,6 | 22157 |
| 13B | 4994 | 820 | 10,8 | 20454 |
| 14B | 4703 | 806 | 10,3 | 17826 |
| 16B | 4918 | 814 | 10 | 19692 |
| 17B | 5073 | 824 | 10,3 | 21216 |
| 18B | 4913 | 813 | 10,3 | 19626 |
| 20B | 4934 | 801 | 10,7 | 19504 |
| 21B | 4886 | 840 | 13,2 | 20053 |
| 22B | 5050 | 822 | 10,3 | 20968 |
| 24B | 4940 | 816 | 10,8 | 19904 |
| 25B | 5287 | 830 | 11,3 | 23199 |
| 27B | 5329 | 852 | 11,6 | 24212 |
| 28C | 5131 | 812 | 11 | 21384 |
| 29C | 5190 | 808 | 10,9 | 21774 |
| 30C | 5033 | 789 | 10,1 | 19978 |
| 31C | 5287 | 803 | 12 | 22439 |
| 32C | 5292 | 823 | 11,3 | 23039 |
| 33C | 5045 | 806 | 11,7 | 20515 |
| 34C | 5281 | 838 | 11,5 | 23362 |
| 35C | 5050 | 804 | 10,8 | 20510 |
| 36C | 5067 | 808 | 11,5 | 20757 |
| 37D | 5166 | 848 | 11,8 | 22634 |
| 38D | 5349 | 833 | 11,8 | 23831 |
| 39D | 5017 | 881 | 12,6 | 22173 |
| 40D | 4994 | 949 | 13 | 23667 |
| 41D | 5298 | 950 | 13 | 26654 |
| 42D | 5131 | 824 | 12,6 | 21689 |
| 43D | 5256 | 828 | 11,5 | 22871 |
| 44D | 5312 | 822 | 11 | 23187 |
| 46D | 5079 | 897 | 11,8 | 23134 |
| 47D | 4989 | 863 | 10,9 | 21487 |
| 48D | 5250 | 957 | 11,9 | 26373 |

| | | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 50E | 5552 | 858 | 12,5 | 26444 |
| 51E | 5534 | 857 | 12 | 26240 |
| 53E | 5407 | 860 | 10,5 | 25150 |
| 54E | 5500 | 831 | 12 | 25136 |
| 55E | 5552 | 857 | 12,4 | 26416 |
| 56E | 5518 | 866 | 11 | 26379 |
| 58E | 5479 | 845 | 11,6 | 25371 |
| 59E | 5473 | 844 | 11,6 | 25269 |
| 60E | 5506 | 858 | 11,9 | 26021 |
| 61E | 5546 | 863 | 12,1 | 26543 |
| 62E | 5419 | 849 | 12,3 | 24938 |
| 64F | 5073 | 811 | 10,6 | 20862 |
| 65F | 5214 | 833 | 11,2 | 22649 |
| 66F | 5294 | 829 | 11,4 | 23246 |
| 67F | 5148 | 826 | 10,8 | 21880 |
| 68F | 5214 | 840 | 10,8 | 22847 |
| 69F | 5461 | 842 | 10,5 | 25117 |
| média | 5202 | 849,2 | 11,5 | 23023 |

Tabela 5.30 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Garapeira 0,05 x 0,05 x 0,15 m. Transdutor de 45kHz.

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|--|---|----------------------------|--|
| 1A | 4690 | 899 | 10,5 | 19777 |
| 3A | 4708 | 912 | 11,6 | 20216 |
| 4A | 4911 | 895 | 12,8 | 21590 |
| 5A | 4921 | 910 | 12,6 | 22033 |
| 6A | 5206 | 881 | 12,8 | 23871 |
| 7A | 5119 | 879 | 10,6 | 23028 |
| 8A | 4973 | 913 | 12,4 | 22583 |
| 11B | 5130 | 876 | 12,2 | 23064 |
| 12B | 5162 | 946 | 13,3 | 25197 |
| 13B | 4848 | 913 | 11,4 | 21457 |
| 14B | 4820 | 878 | 12 | 20388 |
| 15B | 5071 | 895 | 11,5 | 23017 |
| 16B | 5017 | 860 | 10,4 | 21656 |
| 17B | 4973 | 916 | 11,9 | 22663 |
| 18B | 4973 | 905 | 12,7 | 22383 |
| 19B | 4915 | 918 | 12,6 | 22165 |
| 21B | 5176 | 899 | 12,8 | 24089 |
| 23B | 5027 | 919 | 11,3 | 23213 |
| 24B | 5216 | 895 | 11,8 | 24353 |
| 25C | 5085 | 832 | 11,4 | 21511 |
| 26C | 5444 | 852 | 12,8 | 25253 |
| 27C | 5484 | 859 | 13,2 | 25841 |
| 28C | 5109 | 847 | 11,5 | 22102 |
| 29D | 5010 | 829 | 11,6 | 20806 |
| 30D | 5253 | 833 | 11,2 | 22994 |
| 31D | 5201 | 799 | 10,6 | 21629 |
| 33D | 4928 | 843 | 11,6 | 20468 |
| 34D | 4924 | 837 | 11,4 | 20293 |
| 35D | 5227 | 827 | 11,4 | 22610 |
| 36D | 5162 | 808 | 11,9 | 21535 |
| 38D | 5092 | 798 | 11,5 | 20680 |
| 39D | 5017 | 805 | 10,1 | 20255 |
| 40D | 5155 | 820 | 10,9 | 21786 |
| 41D | 5231 | 818 | 11,7 | 22394 |
| 43D | 5068 | 819 | 12,1 | 21021 |
| 44D | 5159 | 835 | 11,5 | 22233 |
| 45D | 4860 | 846 | 11,6 | 19981 |
| 46D | 4879 | 905 | 12,1 | 21537 |
| 47D | 4937 | 841 | 11,5 | 20502 |
| 48D | 5216 | 827 | 11,9 | 22488 |
| 49E | 5397 | 846 | 12,6 | 24634 |
| 50E | 5473 | 836 | 11,7 | 25051 |
| 51E | 5401 | 852 | 12,3 | 24848 |
| 52E | 5484 | 842 | 12,4 | 25309 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 53E | 5444 | 831 | 12,3 | 24637 |
| 54E | 5285 | 841 | 11,5 | 23491 |
| 55E | 5332 | 845 | 11,8 | 24026 |
| 56E | 5392 | 842 | 11,8 | 24487 |
| 57E | 5378 | 847 | 11,7 | 24505 |
| 58E | 5444 | 835 | 11,6 | 24729 |
| 59E | 5343 | 847 | 10,6 | 24167 |
| 61E | 5335 | 829 | 11,6 | 23586 |
| 62E | 5480 | 839 | 10,8 | 25206 |
| 63E | 5355 | 837 | 11,6 | 23994 |
| 65F | 5208 | 803 | 11,6 | 21794 |
| 66F | 5151 | 804 | 11 | 21334 |
| média | 5146 | 857 | 11,74 | 22687 |

Tabela 5.31 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Eucalypto 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 013A | 5070 | 494 | 11,4 | 12698 |
| 023A | 5220 | 495 | 11,7 | 13488 |
| 043A | 5027 | 450 | 12,1 | 11372 |
| 053A | 5017 | 480 | 12,4 | 12082 |
| 063A | 4948 | 464 | 11,7 | 11360 |
| 073A | 4934 | 466 | 12,2 | 11344 |
| 083A | 5257 | 490 | 12,5 | 13542 |
| 093A | 4849 | 466 | 11,8 | 10957 |
| 103A | 5003 | 477 | 11,6 | 11939 |
| 113A | 4923 | 474 | 11,4 | 11488 |
| 123A | 5164 | 486 | 12,6 | 12960 |
| 133A | 5226 | 487 | 11,2 | 13300 |
| 143A | 4932 | 478 | 12,8 | 11627 |
| 153A | 5022 | 504 | 11,7 | 12711 |
| 173A | 4967 | 539 | 12,5 | 13298 |
| 203A | 4157 | 560 | 11,7 | 9677 |
| 213A | 4797 | 474 | 11,5 | 10907 |
| 223A | 5003 | 483 | 12,5 | 12089 |
| 233A | 5122 | 508 | 11,8 | 13327 |
| 243A | 5181 | 513 | 12,3 | 13770 |
| 253A | 4532 | 491 | 12,3 | 10085 |
| 262A | 5017 | 431 | 11,6 | 10848 |
| 272A | 5261 | 444 | 11 | 12289 |
| 282A | 5145 | 423 | 12,4 | 11197 |
| 292A | 5148 | 415 | 11,2 | 10998 |
| 302A | 5073 | 405 | 11,9 | 10423 |
| 312A | 5059 | 526 | 12,8 | 13462 |
| 322A | 5166 | 424 | 10,5 | 11316 |
| 332A | 5317 | 453 | 10,6 | 12807 |
| 342A | 4970 | 419 | 11,6 | 10350 |
| 362A | 5101 | 400 | 10,6 | 10408 |
| 372A | 5397 | 446 | 11,2 | 12991 |
| 382A | 5361 | 452 | 11,1 | 12991 |
| 392A | 5175 | 440 | 11,5 | 11783 |
| 402A | 5014 | 410 | 12,7 | 10307 |
| 412A | 5317 | 446 | 10,6 | 12609 |
| 422A | 5086 | 408 | 11,8 | 10554 |
| 432A | 5253 | 460 | 12,5 | 12693 |

| | | | | |
|------|------|-----|------|-------|
| 44A | 4923 | 396 | 11,7 | 9597 |
| 45A | 5310 | 447 | 11,8 | 12604 |
| 46A | 5273 | 406 | 11,8 | 11289 |
| 47A | 5187 | 451 | 12,4 | 12134 |
| 48A | 5062 | 440 | 10,6 | 11274 |
| 49A | 5329 | 438 | 10,9 | 12438 |
| 50A | 5056 | 420 | 10,8 | 10737 |
| 51A | 5014 | 448 | 10,9 | 11263 |
| 52A | 4843 | 430 | 12,6 | 10085 |
| 53A | 5248 | 436 | 12,1 | 12008 |
| 54A | 5341 | 450 | 11,6 | 12837 |
| 55A | 5099 | 417 | 10,4 | 10842 |
| 56A | 5325 | 436 | 11,2 | 12363 |
| 57A | 4685 | 434 | 11,5 | 9526 |
| 58A | 4894 | 428 | 11,8 | 10251 |
| 59A | 4561 | 466 | 11,5 | 9694 |
| 60A | 4900 | 418 | 11,2 | 10036 |
| 61A | 4585 | 454 | 10,6 | 9544 |
| 62A | 5053 | 424 | 9,5 | 10826 |
| 63A | 4982 | 440 | 10,6 | 10921 |
| 64A | 4619 | 470 | 9,7 | 10028 |
| 65A | 5073 | 425 | 10,9 | 10938 |
| 66A | 5082 | 423 | 11,4 | 10925 |
| 67A | 5028 | 417 | 10 | 10542 |
| 68A | 5062 | 408 | 9,9 | 10455 |
| 69A | 4724 | 449 | 10,2 | 10020 |
| 70A | 4717 | 469 | 12,5 | 10435 |
| 71A | 4562 | 523 | 10,5 | 10885 |
| 72A | 4569 | 464 | 11 | 9686 |
| 7310 | 4657 | 500 | 11,2 | 10844 |
| 7410 | 4972 | 491 | 11 | 12138 |
| 7510 | 4921 | 495 | 12,3 | 11987 |
| 7610 | 4713 | 548 | 12,3 | 12172 |
| 7710 | 5028 | 482 | 11,4 | 12185 |
| 7810 | 4404 | 470 | 12,3 | 9116 |
| 7910 | 4803 | 452 | 11,4 | 10427 |
| 8010 | 4820 | 463 | 12,5 | 10757 |
| 8110 | 4350 | 613 | 12,1 | 11599 |
| 8210 | 5119 | 487 | 12,4 | 12761 |
| 8310 | 4913 | 490 | 12,1 | 11827 |
| 8410 | 4910 | 473 | 11,2 | 11403 |
| 8510 | 4986 | 454 | 10,9 | 11287 |
| 8610 | 4905 | 491 | 11,7 | 11813 |
| 8710 | 4964 | 524 | 11,7 | 12912 |
| 8810 | 4850 | 532 | 11,9 | 12514 |
| 8910 | 4664 | 587 | 12,5 | 12769 |
| 9010 | 4715 | 466 | 11,2 | 10360 |

| | | | | |
|-------|------|-----|------|-------|
| 9110 | 4934 | 487 | 11,5 | 11856 |
| 9210 | 4788 | 478 | 11,2 | 10958 |
| 9310 | 5190 | 504 | 11,8 | 13576 |
| 9410 | 4966 | 480 | 11,5 | 11837 |
| 9519 | 4102 | 483 | 11,4 | 8127 |
| 9619 | 4197 | 472 | 10,8 | 8314 |
| 9719 | 4263 | 464 | 11,7 | 8432 |
| 9819 | 4545 | 492 | 12,2 | 10163 |
| 9919 | 4529 | 449 | 10,6 | 9210 |
| 10019 | 4552 | 435 | 11 | 9014 |
| 10119 | 4564 | 486 | 11,4 | 10123 |
| 10219 | 4638 | 464 | 11 | 9981 |
| 10319 | 4865 | 510 | 11,8 | 12071 |
| 10419 | 4444 | 415 | 11,2 | 8196 |
| 10519 | 4447 | 410 | 11,2 | 8108 |
| 10619 | 4310 | 486 | 11,3 | 9028 |
| 10719 | 4498 | 416 | 11,5 | 8417 |
| 10819 | 4342 | 462 | 11,1 | 8710 |
| 10919 | 4469 | 406 | 11,2 | 8109 |
| 11019 | 4247 | 452 | 11,6 | 8153 |
| 11119 | 4446 | 444 | 11,2 | 8777 |
| 11219 | 4613 | 499 | 11,7 | 10619 |
| 11319 | 4649 | 477 | 11,5 | 10309 |
| 11419 | 4551 | 420 | 10,8 | 8699 |
| 11519 | 4697 | 456 | 11,2 | 10060 |
| 1163D | 4703 | 510 | 11,3 | 11280 |
| 1173D | 5031 | 485 | 11,8 | 12276 |
| 1183D | 4978 | 482 | 11,2 | 11944 |
| 1193D | 5155 | 475 | 11,5 | 12623 |
| 1203D | 5134 | 473 | 12 | 12467 |
| 1213D | 5088 | 481 | 11,5 | 12452 |
| 1223D | 5029 | 477 | 11,9 | 12064 |
| 1233D | 5028 | 446 | 12 | 11275 |
| 1243D | 5093 | 458 | 12,4 | 11880 |
| 1253D | 5042 | 465 | 11,5 | 11821 |
| 1263D | 5178 | 465 | 12 | 12467 |
| 1273D | 4915 | 523 | 12,4 | 12634 |
| 1283D | 4899 | 479 | 12,2 | 11496 |
| 1293D | 5549 | 480 | 11,7 | 14780 |
| 1303D | 5166 | 467 | 11,1 | 12463 |
| 1313D | 5090 | 480 | 11,9 | 12436 |
| 1323D | 4891 | 484 | 11,9 | 11578 |
| 1333D | 5146 | 497 | 12 | 13161 |
| 1343D | 5201 | 487 | 11,7 | 13174 |
| 1353D | 4867 | 537 | 11,4 | 12720 |
| 1363D | 5367 | 493 | 11,6 | 14201 |
| 1373D | 5227 | 490 | 12,2 | 13388 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 1383D | 4636 | 485 | 12,3 | 10424 |
| 1393D | 4650 | 523 | 12,4 | 11309 |
| 14112B | 5158 | 455 | 11,4 | 12105 |
| 14212B | 4018 | 585 | 11,7 | 9444 |
| 14312B | 5381 | 478 | 12,2 | 13841 |
| 14412B | 4905 | 436 | 11,8 | 10490 |
| 14512B | 5017 | 428 | 11,1 | 10773 |
| 14612B | 4644 | 476 | 11,4 | 10266 |
| 14712B | 4975 | 483 | 11,6 | 11955 |
| 14812B | 4836 | 445 | 11,3 | 10407 |
| 15012B | 4981 | 459 | 11,7 | 11388 |
| 15112B | 4929 | 456 | 11,1 | 11079 |
| 15212B | 5006 | 445 | 11,5 | 11152 |
| 15312B | 5169 | 446 | 11,2 | 11916 |
| 15412B | 5664 | 465 | 11,3 | 14918 |
| 15512B | 4915 | 465 | 11,2 | 11233 |
| 15612B | 4923 | 515 | 12,3 | 12482 |
| 15712B | 4865 | 489 | 12 | 11574 |
| 15812B | 4857 | 466 | 11,4 | 10993 |
| 15912B | 4940 | 434 | 12,2 | 10591 |
| 16012B | 5329 | 429 | 10,9 | 12183 |
| 16112B | 5119 | 426 | 11,9 | 11163 |
| 16212B | 5488 | 475 | 11,8 | 14306 |
| 16312B | 5461 | 475 | 12,1 | 14166 |
| 16412B | 5533 | 485 | 11,6 | 14848 |
| 16512B | 5211 | 464 | 11,6 | 12600 |
| 16612B | 5251 | 454 | 10,5 | 12518 |
| média | 4934 | 467 | 11,6 | 11388 |

Tabela 5.32 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Eucalipto 0,05 x 0,05 x 0,15 m. Transdutor de 45 kHz.

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 013A | 5052 | 502 | 12,9 | 12812 |
| 023A | 4947 | 503 | 12,7 | 12310 |
| 033A | 5029 | 476 | 12,7 | 12038 |
| 043A | 4942 | 510 | 13,7 | 12456 |
| 053A | 5076 | 479 | 12,5 | 12342 |
| 063A | 5222 | 470 | 11,9 | 12817 |
| 073A | 4884 | 506 | 13,5 | 12070 |
| 083A | 5191 | 513 | 12,2 | 13824 |
| 093A | 5094 | 517 | 11,8 | 13416 |
| 103A | 5097 | 513 | 11,8 | 13327 |
| 113A | 4819 | 465 | 13 | 10799 |
| 123A | 4815 | 469 | 12,7 | 10873 |
| 133A | 4738 | 492 | 12,9 | 11045 |
| 143A | 5035 | 527 | 12,6 | 13360 |
| 153A | 5090 | 509 | 12,4 | 13187 |
| 162A | 5131 | 446 | 11 | 11742 |
| 172A | 5107 | 444 | 10,7 | 11580 |
| 182A | 5149 | 442 | 12 | 11718 |
| 192A | 4843 | 440 | 11,9 | 10320 |
| 202A | 5193 | 445 | 11 | 12000 |
| 212A | 5012 | 442 | 12,8 | 11103 |
| 222A | 5273 | 435 | 11,8 | 12095 |
| 232A | 5179 | 425 | 12,2 | 11399 |
| 242A | 5162 | 432 | 11,4 | 11511 |
| 252A | 4896 | 454 | 11 | 10883 |
| 262A | 5297 | 457 | 11,8 | 12823 |
| 27A | 5094 | 446 | 12,5 | 11573 |
| 28A | 5205 | 422 | 11 | 11433 |
| 29A | 5060 | 422 | 11 | 10805 |
| 30A | 5123 | 430 | 11 | 11285 |
| 31A | 4980 | 422 | 11,4 | 10466 |
| 32A | 5286 | 431 | 11,9 | 12043 |
| 33A | 5163 | 456 | 12,1 | 12155 |
| 34A | 4978 | 449 | 12,2 | 11126 |

| | | | | |
|-------|------|-----|------|-------|
| 35A | 5039 | 438 | 12 | 11121 |
| 3710 | 4593 | 555 | 13 | 11708 |
| 3810 | 5245 | 499 | 13 | 13728 |
| 3910 | 4879 | 540 | 12,3 | 12855 |
| 4010 | 4618 | 533 | 11,9 | 11367 |
| 4110 | 4812 | 505 | 12,1 | 11693 |
| 4210 | 4905 | 474 | 12,4 | 11404 |
| 4310 | 4827 | 490 | 12,1 | 11417 |
| 4410 | 4911 | 493 | 13 | 11890 |
| 4519 | 4733 | 449 | 11,7 | 10058 |
| 4619 | 4620 | 461 | 12,1 | 9840 |
| 4719 | 4913 | 464 | 12,1 | 11200 |
| 4819 | 4762 | 451 | 10,7 | 10227 |
| 4919 | 4588 | 463 | 12 | 9746 |
| 5019 | 4354 | 457 | 11,1 | 8663 |
| 5119 | 4661 | 445 | 11,8 | 9668 |
| 5219 | 4857 | 470 | 11,8 | 11088 |
| 5319 | 4771 | 453 | 12,3 | 10311 |
| 5419 | 4895 | 448 | 11,7 | 10735 |
| 5519 | 4892 | 461 | 11,5 | 11032 |
| 5619 | 4839 | 457 | 12,6 | 10701 |
| 5719 | 4842 | 437 | 12,1 | 10245 |
| 583D | 4976 | 477 | 12,3 | 11811 |
| 593D | 4746 | 494 | 11,9 | 11127 |
| 603D | 5049 | 468 | 12,8 | 11930 |
| 613D | 4937 | 489 | 12,7 | 11919 |
| 623D | 5090 | 494 | 12,8 | 12799 |
| 633D | 4926 | 478 | 12,4 | 11599 |
| 643D | 4916 | 461 | 12,5 | 11141 |
| 653D | 5008 | 485 | 13,7 | 12164 |
| 663D | 4962 | 486 | 12 | 11966 |
| 673D | 5251 | 537 | 12,9 | 14807 |
| 683D | 4986 | 526 | 13,1 | 13076 |
| 693D | 5015 | 539 | 12,4 | 13556 |
| 703D | 5087 | 510 | 12,8 | 13198 |
| 713D | 4982 | 488 | 12,6 | 12112 |
| 7212B | 5257 | 467 | 11,9 | 12906 |
| 7312B | 5430 | 461 | 13 | 13593 |
| 7412B | 5077 | 457 | 11,3 | 11780 |
| 7512B | 4949 | 464 | 12 | 11365 |
| 7612B | 4934 | 446 | 12,6 | 10858 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 7712B | 4626 | 469 | 12,1 | 10037 |
| 7812B | 5101 | 448 | 11,7 | 11657 |
| 7912B | 5177 | 471 | 12,5 | 12623 |
| 8012B | 5170 | 464 | 12,4 | 12402 |
| 8212B | 5102 | 492 | 11,8 | 12807 |
| 8312B | 5317 | 466 | 13 | 13174 |
| 8412B | 5251 | 457 | 12,8 | 12601 |
| 8512B | 5195 | 468 | 11,9 | 12630 |
| 8612B | 5283 | 462 | 12,2 | 12894 |
| 8712B | 5289 | 459 | 11,5 | 12840 |
| média | 4998 | 472 | 12,2 | 11798 |

Tabela 5.33 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Pinnus 0,03 x 0,03 x 0,09 m. Transdutor de 45 kHz

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m^3 | umidade % | C_{LL} MPa |
|-----------|------------------------------------|--|----------------------|------------------------------------|
| 1.1 | 5000 | 614 | 10,9 | 15350 |
| 1.2 | 5741 | 714 | 12,6 | 23529 |
| 1.3 | 5758 | 707 | 12,2 | 23438 |
| 1.4 | 5726 | 698 | 12,3 | 22885 |
| 1.5 | 5661 | 622 | 12,3 | 19930 |
| 1.6 | 5017 | 486 | 11,2 | 12231 |
| 1.7 | 4967 | 463 | 10,9 | 11424 |
| 1.8 | 4614 | 486 | 12,5 | 10346 |
| 1.10 | 5948 | 707 | 12,9 | 25010 |
| 1.11 | 5811 | 715 | 12,2 | 24140 |
| 1.12 | 5830 | 699 | 11,9 | 23759 |
| 1.13 | 5828 | 673 | 11,9 | 22859 |
| 1.14 | 5631 | 646 | 12,5 | 20485 |
| 1.15 | 4609 | 451 | 8,9 | 9581 |
| 1.16 | 5133 | 476 | 11,9 | 12542 |
| 1.17 | 5722 | 600 | 11,5 | 19641 |
| 1.18 | 4751 | 432 | 11,8 | 9753 |
| 2.19 | 5863 | 648 | 12,5 | 22278 |
| 2.22 | 5245 | 477 | 11,7 | 13122 |
| 2.23 | 5095 | 513 | 12,6 | 13318 |
| 2.24 | 5044 | 551 | 10,8 | 14021 |
| 2.25 | 5869 | 675 | 12,7 | 23248 |
| 2.26 | 5821 | 707 | 12,2 | 23954 |
| 2.27 | 5986 | 648 | 12,4 | 23215 |
| 2.28 | 6008 | 673 | 12,4 | 24292 |
| 2.29 | 5260 | 647 | 12 | 17898 |
| 2.31 | 5962 | 665 | 12,1 | 23634 |
| 2.33 | 5830 | 675 | 11,9 | 22939 |
| 2.34 | 6067 | 681 | 12,6 | 25066 |
| 2.35 | 4421 | 590 | 12,2 | 11531 |
| 2.36 | 5239 | 612 | 11,5 | 16799 |
| 3.37 | 5633 | 609 | 12,6 | 19323 |
| 3.38 | 5960 | 642 | 12,7 | 22801 |
| 3.39 | 5425 | 516 | 10,2 | 15184 |
| 3.40 | 5627 | 636 | 11,6 | 20140 |
| 3.42 | 3869 | 516 | 11 | 7725 |
| 3.44 | 3677 | 468 | 11 | 6326 |
| 3.46 | 4420 | 454 | 10,6 | 8871 |
| 3.47 | 3788 | 492 | 10,8 | 7060 |
| 3.49 | 3098 | 515 | 11,4 | 4943 |

| | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| 3.51 | 4840 | 456 | 10,8 | 10681 |
| 3.52 | 3646 | 530 | 10,9 | 7044 |
| 3.54 | 3858 | 533 | 10,5 | 7932 |
| 3.56 | 4908 | 460 | 10,1 | 11078 |
| 3.57 | 4343 | 440 | 11,6 | 8299 |
| 3.58 | 3958 | 519 | 11,4 | 8129 |
| 4.59 | 3849 | 499 | 10,5 | 7391 |
| 4.60 | 4369 | 432 | 10,7 | 8246 |
| 4.61 | 3581 | 528 | 10,5 | 6772 |
| 4.63 | 4902 | 525 | 10,6 | 12613 |
| 4.65 | 4028 | 521 | 11,6 | 8453 |
| 4.66 | 5452 | 656 | 12 | 19498 |
| 4.67 | 4737 | 565 | 11,5 | 12677 |
| 4.68 | 4606 | 510 | 11,4 | 10821 |
| 4.69 | 4402 | 521 | 12 | 10096 |
| 4.70 | 4188 | 523 | 12 | 9175 |
| 4.71 | 5519 | 636 | 11,8 | 19375 |
| 4.72 | 4431 | 571 | 11,1 | 11212 |
| 4.73 | 5298 | 628 | 11,3 | 17627 |
| 4.74 | 4377 | 512 | 11,5 | 9811 |
| 4.75 | 4566 | 499 | 11,5 | 10403 |
| 4.76 | 5544 | 648 | 11,4 | 19915 |
| 4.77 | 5215 | 607 | 11,8 | 16509 |
| 4.78 | 4767 | 555 | 12,3 | 12609 |
| 4.79 | 5513 | 647 | 12,4 | 19664 |
| 4.80 | 4533 | 492 | 12,1 | 10108 |
| 5.82 | 5117 | 530 | 11,6 | 13875 |
| 5.83 | 4773 | 512 | 11,4 | 11662 |
| 5.84 | 4388 | 512 | 12,2 | 9858 |
| 5.86 | 4594 | 495 | 11,8 | 10445 |
| 5.87 | 4332 | 508 | 11,3 | 9532 |
| 5.88 | 5085 | 564 | 12 | 14584 |
| 5.89 | 5051 | 531 | 11,3 | 13545 |
| 5.92 | 5711 | 643 | 12,1 | 20969 |
| 5.93 | 4655 | 482 | 11,8 | 10446 |
| 5.94 | 5470 | 652 | 11,6 | 19505 |
| 5.95 | 4959 | 506 | 11,8 | 12441 |
| 5.97 | 5418 | 612 | 11,6 | 17963 |
| 5.98 | 5426 | 612 | 12,4 | 18017 |
| 5.102 | 4772 | 471 | 10,8 | 10726 |
| 5.103 | 5076 | 503 | 10,8 | 12961 |
| 5.105 | 4628 | 473 | 11,4 | 10133 |
| 5.106 | 4605 | 496 | 11,5 | 10517 |
| média | 4993 | 565 | 11,6 | 14794 |

Tabela 5.34 - Resultados de Velocidade de Propagação de ondas de ultra-som (V_{LL}) e de Constante Dinâmica (C_{LL}) na direção longitudinal. Pinnus 0,05 x 0,05 x 0,15 m. Transdutor de 45 kHz.

| Cp | V_{LL} m/s | densidade kg/m³ | umidade % | C_{LL} MPa |
|--------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1.1 | 5840 | 693 | 12,2 | 23635 |
| 1.2 | 4697 | 514 | 10,4 | 11340 |
| 1.3 | 5187 | 494 | 11,2 | 13291 |
| 1.5 | 5175 | 492 | 11 | 13176 |
| 1.6 | 5592 | 600 | 12,6 | 18762 |
| 1.7 | 5952 | 676 | 12,3 | 23948 |
| 1.8 | 5310 | 588 | 11,8 | 16579 |
| 1.9 | 5784 | 709 | 12,8 | 23719 |
| 2.12 | 5507 | 545 | 11,2 | 16528 |
| 2.13 | 5607 | 615 | 11,2 | 19335 |
| 2.14 | 5695 | 614 | 11,2 | 19914 |
| 2.15 | 5797 | 532 | 11,7 | 17878 |
| 2.16 | 5572 | 635 | 12,4 | 19715 |
| 2.17 | 5994 | 620 | 11,1 | 22275 |
| 2.18 | 5929 | 617 | 11,9 | 21689 |
| 2.19 | 5220 | 650 | 12,1 | 17711 |
| 2.20 | 5249 | 628 | 11,5 | 17303 |
| 2.21 | 5047 | 558 | 10,4 | 14213 |
| 2.22 | 5455 | 634 | 12,7 | 18866 |
| 3.25 | 3779 | 487 | 10,8 | 6955 |
| 3.26 | 3509 | 509 | 10,3 | 6267 |
| 3.28 | 4420 | 480 | 11,1 | 9377 |
| 3.32 | 3636 | 506 | 11,1 | 6690 |
| 4.34 | 5058 | 530 | 10,9 | 13559 |
| 4.36 | 4682 | 521 | 11,9 | 11421 |
| 4.37 | 4758 | 527 | 11,8 | 11931 |
| 4.38 | 4557 | 518 | 11,1 | 10757 |
| 4.40 | 5194 | 553 | 11,5 | 14919 |
| 4.41 | 5172 | 556 | 11,1 | 14873 |
| 4.42 | 4816 | 503 | 11,5 | 11667 |
| 4.44 | 4888 | 507 | 11,8 | 12114 |
| 5.46 | 5523 | 593 | 11,5 | 18089 |
| 5.48 | 5374 | 540 | 11,9 | 15595 |
| 5.50 | 5060 | 548 | 12,6 | 14031 |
| 5.52 | 4317 | 498 | 11,3 | 9281 |
| 5.55 | 4484 | 514 | 11 | 10335 |
| média | 5107 | 564 | 11,5 | 15215 |

Tabela 5.35 - Médias e variabilidade dos resultados obtidos nos ensaios não destrutivos (velocidade de propagação da onda na direção longitudinal (VLL) e Constante Dinâmica (CLL)) considerando todos os corpos-de-prova. Transdutor de 45 kHz
M = média (MPa); D = desvio padrão (MPa); Cv = Coeficiente de Variação (%) e n = número de corpos-de-prova

| Espécie | V_{LL} 3x3 | V_{LL} 5x5 | C_{LL} 3x3 | C_{LL} 5x5 |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Cerejeira | M=5026 D= 271 CV = 5 n= 84 | M= 4679 D= 461 CV = 10 n= 55 | M= 15557 D= 2055 Cv = 13 n= 84 | M= 12836 D= 1930 CV = 15 n= 55 |
| Perobinha | M=5058 D= 101 CV = 2 n= 53 | M=4912 D= 142 CV = 3 n= 57 | M= 17532 D= 661 CV = 4 n= 53 | M=16853 D= 1939 CV = 12 n= 57 |
| Angico-preto | M=5124 D=266 CV = 5 n= 104 | M=5048 D=341 CV = 7 n=91 | M=25802 D=2586 CV = 10 n= 104 | M=25156 D=3252 CV = 13 n=91 |
| Garapeira | M=5202 D=198 CV = 3,8 n= 58 | M=5146 D=209 CV = 4 n= 56 | M=23023 D=2168 CV = 9,4 n= 58 | M=22687 D=1659 CV =7,3 n= 56 |
| Cabreúva- vermelha | M= 5064 D=118 CV = 2 n= 59 | M= 5159 D= 158 CV = 3 n= 57 | M= 25287 D= 1362 CV = 5 n= 59 | M= 26634 D= 2143 CV = 8 n= 57 |
| Eucalipto | M=4934 D= 307 CV = 6,2 n=159 | M=4998 D=202 CV = 4 n=85 | M=11388 D=1483 CV = 13 n=159 | M=9695 D=1203 CV = 12,4 n=85 |
| Pinus | M=4993 D=695 CV = 13,9 n=104 | M=5106 D=637 CV = 12,5 n=51 | M=14794 D=5794 CV = 39,2 n=104 | M=15215 D=4886 CV = 32,1 n=51 |

A Tabela 5.36 apresenta o resumo dos resultados da análise realizada com o objetivo de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as velocidades obtidas nos ensaios utilizando corpos-de-prova de 0,03 x 0,03 x 0,09 m e de 0,05 x 0,05 x 0,15 m. A análise realizada pelo Statgraphics é a mesma detalhada para o caso do ensaio de compressão paralela.

Tabela 5.36 - Resumo da Avaliação Estatística da comparação entre as velocidades obtidas nos corpos-de-prova de (0,03 x 0,03 x 0,09) m e de (0,05 x 0,05 x 0,15) m utilizando como amostragem todos os corpos-de-prova e frequência de 45 kHz.

| Espécie | Fator avaliado | P- value | Resultado |
|-------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|
| Cerejeira | Velocidade de propagação | 0.01 | Há diferença estatística |
| Perobinha | Velocidade de propagação | 0.10 | Não há diferença estatística |
| Angico-preto | Velocidade de propagação | 0.20 | Não há diferença estatística |
| Garapeira | Velocidade de propagação | << 0.05 | Há diferença estatística |
| Pinus | Velocidade de propagação | << 0.05 | Há diferença estatística |
| Eucalipto | Velocidade de propagação | << 0.05 | Há diferença estatística |
| Cabreúva-vermelha | Velocidade de propagação | 0.65 | Não há diferença estatística |

Os resultados apresentados na Tabela 5.36 demonstram que, de modo que os parâmetros do ensaio destrutivo, as espécies não se comportam da mesma maneira. Para a cerejeira, a garapeira, o pinus e o eucalipto houve diferença estatística entre as velocidades obtidas nos diferentes tamanhos de corpos-de-prova, enquanto para a perobinha, o angico preto e a cabreúva essas diferenças foram inexistentes.

Para avaliar a influência da relação entre o comprimento de onda (λ) e o comprimento do corpo-de-prova na velocidade de propagação do ultra-som, as espécies pinus e eucalipto foram ensaiadas utilizando-se transdutores de diferentes frequências. A Tabela 5.37 apresenta os valores das relações entre comprimento de percurso e comprimento de onda obtidos utilizando-se as diferentes frequências. Esses valores foram utilizados considerando um valor

fixo de velocidade igual a 5000 m/s. O comprimento de percurso é de 0,09 m para o corpo-de-prova de 0,03 x 0,03 e 0,15 m para o corpo-de-prova de 0,05 x 0,05 m. Para ambos os tamanhos de corpo-de-prova a relação base/altura é igual a 1,0 de maneira que se pode considerar a seção constante.

Tabela 5.37 - Relação entre comprimento de percurso (L) e comprimento de onda (λ) para os transdutores utilizados

| Frequência do transdutor (kHz) | λ (m) | L/ λ | |
|--------------------------------|---------------|------------------|------------------|
| | | CP (0,03 x 0,03) | CP (0,05 x 0,05) |
| 25 | 0,200 | 0,15 | 0,25 |
| 45 | 0,110 | 0,27 | 0,45 |
| 80 | 0,060 | 0,50 | 0,83 |
| 100 | 0,050 | 0,6 | 1,00 |
| 500 | 0,010 | 3,00 | 5,00 |
| 1000 | 0,005 | 6,00 | 10,00 |

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam a tendência de variação da velocidade em função do comprimento de percurso x comprimento de onda para o eucalipto e pinus, respectivamente. A Figura 5.3 apresenta a tendência de variação da velocidade em função do comprimento de percurso/comprimento de onda para o conjunto das espécies.

Nas figuras verifica-se que ambas as espécies apresentam comportamento semelhante, ou seja, há um trecho no qual as velocidades se apresentam com maior variação e outro no qual as velocidades variam menos. O comportamento foi semelhante ao obtido por Bucur (1984) e também Bartholomeu (2003) (ver item 3.7.2 da Revisão Bibliográfica)

Bucur (1984) obteve, para pequenos cilindros da espécie Hêtre, com L / λ variando de 0,1 a 10, que a taxa mais acentuada de variação da velocidade longitudinal ocorre entre as relações L / λ = 0,1 e L / λ = 1, ou seja uma variação de aproximadamente 30%, enquanto que as relações L / λ = 1 e L / λ = 10 a variação foi de 2,6%. Bartholomeu (2003) ensaiando vigas de eucalipto indicou que as velocidades começam a ficar constantes a partir de L / λ = 5.

Utilizando os dados obtidos nesta pesquisa, realizadas com corpos-de-prova, obtêm-se, para o eucalipto, variação de aproximadamente 24% de L / λ = 0,15 a L / λ = 3 e de aproximadamente 9,5% para L / λ variando de 3 a 10. Para o pinus de L / λ = 0,15 a L / λ = 3 a variação foi de aproximadamente 35% enquanto que para L / λ variando de 3 a 10 a variação

foi de aproximadamente 20%. Considerando as espécies eucalipto, pinus e garapeira (Figura 5.3), a variação é de aproximadamente 36% e 20% para o intervalo L / λ de 0,15 a 3 e de L / λ de 3 a 10, respectivamente. Esse comportamento pode ser também observado por meio de regressões lineares utilizando-se os dois trechos. Por meio dessas regressões verifica-se que a inclinação do gráfico (representada pelo coeficiente angular) é muito mais acentuada no trecho que corresponde a L / λ menor que 3. Para o caso do eucalipto esse coeficiente passa de aproximadamente 700 para 40 e no caso do pinus de aproximadamente 600 para 80.

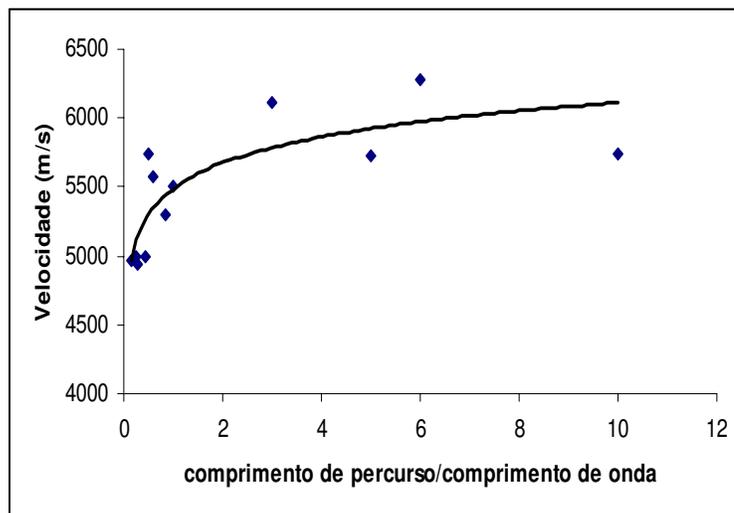


Figura 5.1 - Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de eucalipto grandis

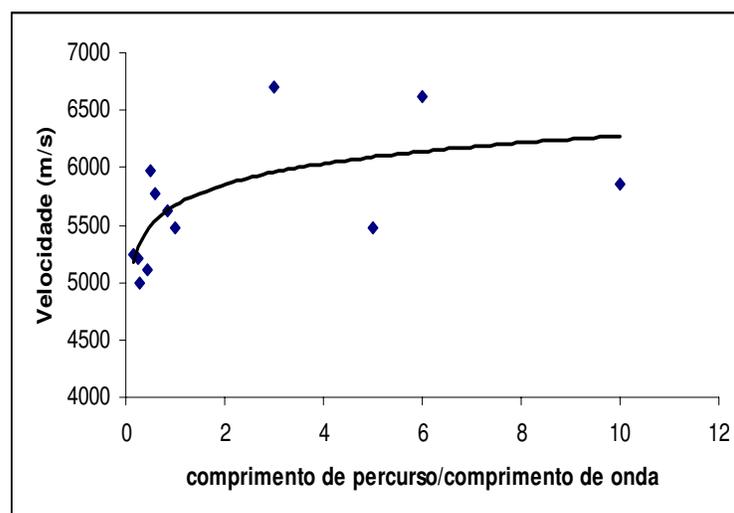


Figura 5.2 - Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de pinus elliottii.

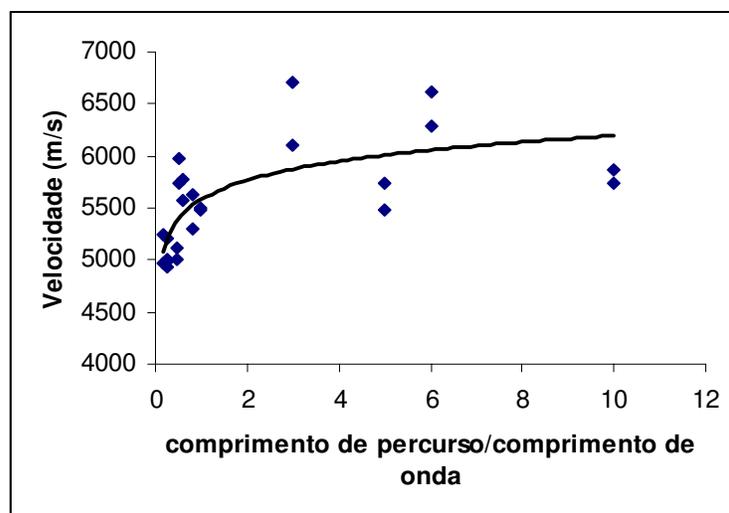


Figura 5.3 - Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L / λ em corpos-de-prova de eucalipto e pinus elliottii

Alguns autores indicaram, também, que a velocidade aumenta com o aumento da frequência do transdutor. Bucur (1984) estudou a variação da velocidade de propagação do ultra-som na espécie Hêtre utilizando as frequências de 80 kHz e 2 MHz. Os resultados encontrados pela autora mostraram que houve um aumento da velocidade longitudinal decorrente do aumento da frequência. Para 80 kHz, a velocidade foi de 4150 m/s e à 2 MHz, foi de 4665 m/s, constituindo-se num aumento de 12%.

A Tabela 5.38 apresenta as velocidades obtidas nas diferentes frequências estudadas. Os resultados também indicaram aumento da velocidade com a frequência, sendo em média (eucalipto e pinus) de aproximadamente 14% nos corpos-de-prova de 5 x 5 x 15 cm e de aproximadamente 26% nos corpos-de-prova de 3 x 3 x 9 cm.

Tabela 5.38 – Velocidades nas diferentes frequências estudadas.

| Frequência (kHz) | Velocidade | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Eucalipto (3 x3 x 9) | Eucalipto (5 x 5 x 15) | Pinus (3 x3 x 9) | Pinus (5 x 5 x 15) |
| 25 | 4964 | 4998 | 5249 | 5203 |
| 45 | 4934 | 4997 | 4993 | 5107 |
| 80 | 5741 | 5292 | 5968 | 5625 |
| 100 | 5571 | 5500 | 5780 | 5477 |
| 500 | 6108 | 5731 | 6703 | 5477 |
| 1000 | 6279 | 5743 | 6620 | 5859 |

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e nas discussões apresentadas se podem tecer as seguintes conclusões principais:

6.1 Relativas à Hipótese do Trabalho

- A hipótese de que mantida a proporcionalidade do corpo-de-prova, referente ao padrão da norma 7190/97, o resultado médio do valor da resistência, obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras se mantém inalterados foi comprovada para todas as espécies. A diferença média obtida foi de 2%.

- A hipótese de que mantida a proporcionalidade do corpo-de-prova, referente ao padrão da norma 7190/97, o resultado médio do valor do módulo de elasticidade, obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras se mantém inalterados não foi comprovada para duas das sete espécies estudadas (garapeira e eucalipto). No entanto, a diferença média obtida entre os resultados nos dois tamanhos de corpos-de-prova avaliados foi de 10%, ou seja, menor do que a variabilidade máxima admita no ensaio mecânico (18%).

- Em relação ao modo de ruptura observou-se que o mais freqüente, no caso do corpo de prova de 0,05 x 0,05 x 0,15 m, foi do tipo 3. Para o corpo-de-prova de 0,03 x 0,03 x 0,09 o comportamento do modo de ruptura não segue o mesmo padrão para todas as espécies, tendo sido observado o modo de ruptura do modo 1 para 30% das espécies estudadas .

6.2 Relativas aos Objetivos Secundários

- O comportamento da variação da velocidade de propagação das ondas de ultra-som nos corpos de prova de 0,03 x 0,03 x 0,09 m e de 0,05 x 0,05 x 0,15 m não é o mesmo para todas as espécies estudadas. No caso das 7 espécies avaliadas nesse trabalho a velocidade não sofreu variação estatística com a modificação do tamanho do corpo-de-prova para quatro delas

- cerejeira, garapeira, pinus e eucalipto enquanto que para a perobinha, angico e cabreúva a velocidade não pôde ser considerada estatisticamente igual quando se alteram as dimensões do corpo-de-prova.

- Em média (considerando todas as espécies estudadas), a relação entre a velocidade de propagação das ondas (V_{LL}) no corpo-de-prova 0,05 x 0,05 x 0,15 m e 0,03 x 0,03 x 0,09 m foi de 0,99, sendo as máximas e mínimas relações de 1,02 e 0,93 respectivamente. Em relação à constante dinâmica (C_{LL}) a relação média foi de 0,95 e as máximas e mínimas de 1,05 e 0,83 respectivamente.

- A velocidade de propagação das ondas apresenta maiores variações para valores de L/λ até 3, sendo mais constante a partir desse limite.

- A velocidade de propagação das ondas de ultra-som aumentam com a frequência do transdutor. Esse aumento foi de aproximadamente 14% nos corpos-de-prova de 0,05 x 0,05 x 0,15 m e de aproximadamente 26% nos corpos-de-prova de 0,03 x 0,03 x 0,09 m.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – **NBR 7190/97 - Projeto de estruturas de madeira** 107p. Rio de Janeiro (RJ), 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **Pequenos corpos de prova de madeira isentos de defeito** – ASTM D143 – 52. Parte I: Métodos principais. IN: 2000,(Revisada 2000)- Annual book of ASTM Standards, Part 22. Philadelphia,Pa, USA, 1982.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 198-84 Static tests of Timbers in Structural Sizes**. Philadelphia, Pa, USA,1984.

BARTHOLOMEU, André. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som**. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Na área de concentração de Construções Rurais, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2001.

BARTHOLOMEU, André; GONÇALVES, Raquel; HERNÁNDEZ, Roger E. **Montagem de equipamento para ensaios não destrutivos em madeira utilizando ultra-som**. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e em Estruturas de Madeira, VI, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis (SC) : Imprensa Universidade da UFSC, v.4, p.345-354, 1998.

BARTHOLOMEU, André; GONÇALVES, Raquel e BUCUR V. **Dispersion of ultrasonic waves in Eucalyptus lumber as a function of the geometry of boards** . Scientia Forestalis n. 63 p. 235-240, jun. 2003

BODIG, J. & JAYNE, B.A. – **Mechanics of wood and wood composites**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1982. p. 419.

BUCUR,Voichita. La vitesse des ultrasons et la qualité du bois. Colloque du Groupe Français de Rhéologie, 19,15p.,1984, Paris (France).

BUCUR, Voichita. **Acoustics of wood**. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc., 1995.

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

LOGSDON, N. B. CALIL Júnior, C. – **Influência da umidade sobre as propriedades de resistência e rigidez da Madeira**. Anais do VII Ebramem (Encontro Brasileiro em madeiras e em Estruturas de Madeira), 2000.

PRATA, Dener Gonçalves. **Compressão Paralela às Fibras em Peças de Madeira**. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) (1982) - Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Estruturas, Universidade de São Paulo.

ROSS, Robert J., PELLERIN, Roy F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70. Madison, WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 40p., May 1994.

SANDOZ, Jean Luc. **Triage et fiabilité de bois de construction**. 186p. Thèse (Doctorat em Sciences Techniques) – Département de Génie Civil, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Suisse, 1990

SANTOS, L.B., MORALES, E.A.M & LAHR, F.A.R. – **Descrição do Comportamento de Peças de Madeira Submetidas à Compressão Paralela às Fibras segundo a NBR 7190 (1997)**. Revista Madeira arquitetura e engenharia, Ano 2, Número 4, Janeiro a Abril/2001- Escola de Engenharia de São Carlos – edição digital.

SALLENAVE, P. – **Propriétés physiques et mécaniques des bois tropical**. Nogent-sur-Marne Centre technique forestier tropical, 1971 (Deuxième Supplément)

TIMOSHENKO, S. – **Mecânica dos Sólidos**, Rio de Janeiro, McGraw-Hill, 1982. V.1.

WAUBKE, Nils Valerian. **Grundsatzliche Untersuchungen zur Eignung der Ultraschall-Impulslaufzeitmessungen als vereinfachte und genauere Methode zur Klassifikation von Bauholzern.** 56p. Institut für Baustoffkunde und Bauphysik der Hochschule der Bundeswehr München, München, Deutschland, 1981.

Demais Bibliografias Consultadas

BALLARIN, Adriano.W.; RIBEIRO, A.B. **Variação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira de E. citriodora com a umidade.** In: Anais do VII Embramem (Encontro Brasileiro em madeiras e em Estruturas de Madeira V.3, p.229-240.

BALLARIN, Adriano.W., TARGA, L.A., SOBRAL, L.M. **Variação do módulo de elasticidade com o tempo para as madeiras de Eucalyptus citriodora e Pinus elliottii.** In: Congresso Latino Americano de Engenharia Rural - CLIR, 1998, La Plata.Actas (CD-ROM)... La Plata: ASAE/NTA/ ALIA, 1998.

BALLARIN, Adriano.W.; TARGA, L.A.; SOBRAL, L.M. **Fluência em peças fletidas de E. citriodora e Pinus elliottii submetidas a níveis de carregamento elevados.** Anais do VI Embramem (Encontro Brasileiro em madeiras e em Estruturas de Madeira) 1998, Florianópolis. Anais.... v. 1, p.110-120.

CALIL, C. JR., BALLARIN, A.W., MARTINELLI, E. **Fluência em peças fletidas de madeira** In: Anais do VII Embramem (Encontro Brasileiro em madeiras e em Estruturas de Madeira). Anais... Belo Horizonte: IBRAMEM, 1995. v. 2, p.131-142.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS de São Paulo, Cd room – MADEIRAS PARA MOVEIS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

MAINIERI, C.; CHIMELO,J.P., **Fichas de Características das Madeiras Brasileiras,** INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS de São Paulo,1989, p 407