

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

**AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE MADEIRAS
PARA DORMENTES FERROVIÁRIOS**

RICARDO RAMOS DA ROCHA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para a obtenção do título de Mestre em
Agronomia - Área de Concentração em Energia
na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Agosto de 2003

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

**AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE MADEIRAS
PARA DORMENTES FERROVIÁRIOS**

RICARDO RAMOS DA ROCHA

Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Agosto de 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE MADEIRAS PARA DORMENTES
FERRORIÁRIOS”**

ALUNO: RICARDO RAMOS DA ROCHA

ORIENTADOR: PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ~~ADRIANO~~ WAGNER BALLARIN



PROF. DR. ANTONIO LUDOVICO BERALDO



PROF. DR. ADILSON RENOFIO

Data da Realização: 22 de agosto de 2003

“Você não conhece uma pessoa enquanto não tiver
comido com ela um pacote inteiro de sal.”
Ditado Russo

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem o qual nada seria possível.

Ao Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin, minha gratidão pela dedicação e ensinamento, pela paciência e principalmente a amizade durante a orientação deste trabalho.

Aos colegas de trabalho Ailton de Lima Lucas e Marcelo Nogueira, pela ajuda, pelo companheirismo e amizade, demonstrados durante o trabalho.

Aos amigos Paulo Canguçu Fraga Burgo, Mônica Maria Donida, Luiz A.V. Hellmeister e Roberto Antonio Colenci pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos funcionários da marcenaria da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, pela atenção na confecção das peças de madeira.

A Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, pelo apoio na realização dos ensaios.

À Prof^a. Dr.^a Carmen Regina Marcati, pela colaboração na identificação botânica das espécies de madeiras.

À Ferroban – Ferrovia Bandeirantes S/A, pelo fornecimento dos dormentes para a realização dos ensaios.

Ao IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pela colaboração na identificação botânica das espécies de madeiras.

A todos os Professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural e do Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, pela compreensão, amizade e colaboração, indispensáveis à realização deste trabalho.

A todas as pessoas que estiveram a meu lado, torcendo pelo sucesso deste trabalho.

À minha sogra e meu sogro pelo apoio e compreensão.

Ao meu pai, “*em memória*” e à minha mãe pelo apoio, amor e compreensão dedicados a mim em todas as etapas da minha vida.

À minha esposa Renata, pela paciência,
amor, carinho e compreensão, sem os quais não seria
possível a conclusão deste trabalho.

dedico.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
SIMBOLOGIA.....	VIII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1 Especificações gerais para dormentes de madeira.....	8
4.2 Métodos convencionais de avaliação de madeiras para dormentes.....	13
4.3 Métodos não-destrutivos de avaliação de madeiras para dormentes.....	22
4.3.1 Ondas de tensão.....	22
4.3.2 Ultra-som.....	29
4.3.2.1 Introdução	29
4.3.2.2 Tipos de ondas ultra-sônicas.....	31
4.3.2.2.1 Ondas longitudinais (ondas de compressão).....	31
4.3.2.2.2 Ondas transversais (ondas de corte ou cisalhamento)..	31
4.3.2.2.3 Ondas superficiais.....	31
4.3.2.3 Transdutores.....	31
4.3.2.3.1 Transdutores normais.....	32
4.3.2.3.2 Transdutores com duplo cristal.....	32
4.3.2.3.3 Transdutores angulares.....	33
4.3.2.3.4 Transdutores de ondas superficiais.....	33
4.3.2.4 Acoplante (Gel).....	34
4.3.2.5 Ultra-som aplicado à madeira.....	34
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
5.1 Material.....	41
5.2 Métodos.....	42
5.2.1 Desdobro dos dormentes.....	42
5.2.2 Ensaio não-destrutivo.....	45
5.2.2.1 Ensaio com ondas de tensão.....	45

5.2.2.2 Ensaaios com ultra-som.....	46
5.2.3 Ensaaios destrutivos em corpos-de-prova.....	48
5.2.4 Tratamento Estatístico.....	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
6.1 Ensaaios não-destrutivos.....	52
6.1.1 Segmento do dormente.....	52
6.1.2 Parcela do dormente.....	56
6.1.3 Corpos-de-prova.....	60
6.2 Ensaaios destrutivos em corpos-de-prova.....	67
6.3 Relações entre as variáveis estudadas.....	73
6.3.1 Ensaaios destrutivos.....	73
6.3.2 Ensaaios não-destrutivos.....	74
6.3.3 Ensaaios estáticos e dinâmicos.....	75
6.3.3.1 Direção longitudinal.....	76
6.3.3.2 Direção transversal.....	80
7 CONCLUSÕES.....	83
7.1 Método não-destrutivo das ondas de tensão.....	84
7.2 Método não-destrutivo do ultra-som.....	85
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
APÊNDICE.....	93

LISTA DE QUADROS

	Página
1 Características físico-mecânicas de madeiras de uso na dormentação.....	9
2 Valores médios de algumas propriedades de grupamentos de madeira.....	9
3 Dimensões mínimas exigíveis para dormentes prismáticos de madeira na RFFSA.....	12
4 Valores mínimos de propriedades das madeiras para dormentes ferroviários.....	14
5 Classificação de algumas espécies de madeiras para uso como dormentes, segundo seus índices de desempenho.....	20
6 Classes de resistência da madeira.....	21
7 Sumário de pesquisas da correlação entre o módulo de elasticidade obtido em função da velocidade de propagação das ondas de tensão e em ensaios estáticos convencionais, para vários materiais à base de madeira.....	27
8 Coeficiente de Poisson médios para coníferas e dicotiledôneas (Bodig & Jaine, 1982) apud Goulet & Laforest (1987).....	40
9 Grupos finais de dormentes, obtidos a partir da identificação anatômica das amostras.....	42
10 Dimensões das peças utilizadas no programa experimental.....	45
11 Segmento do dormente – resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos.....	53
12 Segmento do dormente – análise de variância e comparação de médias.....	55
13 Parcela do segmento – resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos ..	58
14 Parcela do segmento – Longitudinal –Análise de variância e comparação de métodos.....	60
15 Parcela do segmento – Transversal –Análise de variância e comparação de médias.....	61
16 Corpos-de-prova – Longitudinal – resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos.....	62
17 Corpos-de-prova – Longitudinal – não-destrutivo – Análise de variância e comparação de médias.....	64
18 Corpos-de-prova – Transversal – Resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos.....	65
19 Corpos-de-prova – Transversal – não-destrutivo – Análise de variância e comparação de médias.....	67

20	Corpos-de-prova – Longitudinal - Resumo dos resultados dos ensaios destrutivos..	69
21	Corpos-de-prova – Longitudinal – destrutivo – Análise de variância e comparação de médias.....	71
22	Corpos-de-prova – Transversal – Resumo dos resultados dos ensaios destrutivos.....	72
23	Corpos-de-prova – Transversal – destrutivo – Análise de variância e comparação de médias.....	74
24	Relações entre principais variáveis dos ensaios destrutivos.....	75
25	Relações entre principais variáveis dos ensaios não-destrutivos – Segmento x parcela.....	76
26	Relações entre principais variáveis dos ensaios não-destrutivos – Segmento x corpo-de-prova.....	76

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Dormente prismático – Dimensões nominais (em cm) para bitola métrica. Para bitola larga, a altura, largura e comprimento alteram-se, respectivamente, para 17 cm, 24 cm e 280 cm.....	10
2 Dormente duas faces – Dimensões nominais (em cm) para bitola métrica. É normalmente produzido a partir de toras com 23 cm a 28 cm de diâmetro, das quais são serradas somente duas costaneiras.....	11
3 Dormente uma face – Dimensões nominais (em cm) para bitola métrica normalmente produzido a partir de toras com 23 cm a 28 cm de diâmetro.....	11
4 Dormente roliço, “round-ties” - Dimensões nominais (em cm) para bitola métrica.....	11
5 Relação linear entre a dureza normal às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca.....	15
6 Relação linear entre a dureza paralela às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca.....	15
7 Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores para umidades variáveis nos lotes.....	16
8 Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores corrigidos para a umidade de referência de 12%.....	17
9 Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores para umidades variáveis nos lotes.....	17
10 Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores para umidades de referência de 12%.....	18
11 Barra elástica, submetida a um impacto.....	23
12 Suposições básicas para o equacionamento teórico do método das ondas de	24

tensão.....	
13 Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico (eq. 14) e estático (ensaio de flexão) da madeira em equilíbrio.....	28
14 Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico (eq. 15) e estático (ensaio de flexão) da madeira em equilíbrio.....	28
15 Campo de Audibilidade das vibrações mecânicas, considerando-se 20 Hz o limite superior audível e denomina-se a partir desta, frequência ultra-sônica.....	29
16 Demonstração de uso do ensaio de ultra-som na madeira.....	30
17 Direções ortotrópicas da madeira (longitudinal, radial e tangencial).....	36
18 Variação da velocidade longitudinal de ultra-som (curva U1) e da atenuação das ondas ultra-sônicas (curva U2) em função do teor de umidade em corpos-de-prova de Metasequoia.....	37
19 Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L/λ em corpos-de-prova.....	38
20 Características das amostras dos dormentes – aproximadamente metade de um dormente.....	43
21 Esquema de desdobro do meio-dormente em frações para os ensaios.....	44
22 Operações executadas no desdobro do dormente, na serraria da Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus da FCA – UNESP – Botucatu.....	44
23 Ensaio com ondas de Tensão: a) vista geral do aparato do ensaio; b) detalhe do transdutor de recepção e do contador de tempo; c) detalhes dos dois pontos de medição no segmento e d) detalhe do martelo instrumentado.....	46
24 Utilização do corpo-de-prova acrílico para a calibração do aparelho de ultra-som.	47
25 Aplicação do ensaio de ultra-som no(s): a) Segmento; b) Parcela, e c) Corpos-de-prova.....	48
26 Ensaio de dureza Janka, paralela às fibras (esquerdo) e normal às fibras (direita).....	49
27 Ensaio de compressão normal às fibras.....	49
28 Ensaio de compressão paralela às fibra.....	50
29 Pesagem e secagem dos corpos-de-prova.....	50
30 Correlação entre a velocidade de propagação de ondas de ultra-som e a resistência à compressão paralela às fibras.....	77
31 Correlação entre a velocidade de propagação de ondas de ultra-som no corpo-de-prova e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras nos corpos-de-prova correspondentes.....	78
32 Correlação entre a constante dinâmica C_{LL} e o módulo de elasticidade à	78

compressão paralela às fibras.....	
33 Correlação entre a constante dinâmica C_{LL} e a resistência à compressão paralela às fibras.....	79
34 Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico — ondas de tensão — obtido no segmento do dormente e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras nos corpos-de-prova correspondentes.....	80
35 Correlação entre a constante dinâmica C_{LL} obtida no segmento do dormente e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras nos corpos-de-prova correspondentes.....	80
36 Correlação entre a constante dinâmica C_{transv} e o módulo de elasticidade à compressão normal às fibras.....	81
37 Correlação entre a constante dinâmica C_{transv} e a resistência à compressão normal às fibras	81

1 RESUMO

O dormente de madeira é um elemento fundamental para a superestrutura das ferrovias nacionais, sendo utilizado em mais de 80% da malha ferroviária brasileira.

A utilização de madeiras nobres para este fim está praticamente inviabilizada nos dias de atuais, devido ao alto custo de extração destas árvores e às restrições ambientais. Estas madeiras estão sendo substituídas por espécies nativas alternativas, além daquelas provenientes de programas de reflorestamento.

A introdução de novas espécies de madeiras para esse uso específico necessitaria do estabelecimento de critérios mais rigorosos para avaliação de suas qualidades. Contudo, as ferramentas até agora disponíveis para essa avaliação ainda são limitadas. Na maioria dos casos, a avaliação das propriedades de desempenho dessas madeiras é feita com uma amostragem de lotes e pela realização sistemática de ensaios convencionais destrutivos de resistência, em laboratório.

Estudos iniciais, realizados junto ao Laboratório de Ensaios de Materiais da FCA – Faculdade de Ciências Agrônomicas / UNESP, indicaram a possibilidade da utilização de

ensaios expeditos, como por exemplo a dureza, para inferência da qualidade da madeira para dormentes.

Este trabalho procurou avaliar a sensibilidade dos métodos não-destrutivos das ondas de tensão (*stress-wave method*) e do ultra-som na caracterização elástica (módulo de elasticidade) e de resistência (resistência à compressão paralela às fibras) de algumas amostras de madeiras utilizadas atualmente na produção de dormentes.

Os resultados evidenciaram essa sensibilidade para os dois métodos (ondas de tensão e ultra-som). Os coeficientes de determinação das regressões lineares obtidas entre as principais variáveis dos ensaios não-destrutivos (velocidades de propagação de ondas de ultra-som e módulo ou constante dinâmica) e dos destrutivos convencionais (módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras) foram sempre superiores a 70%, corroborando essa afirmativa.

NON-DESTRUCTIVE EVALUATION OF WOOD FOR RAILWAY SLEEPERS

Botucatu, 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura)-

Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RICARDO RAMOS DA ROCHA

Adviser: ADRIANO WAGNER BALLARIN

2 SUMMARY

Wood railway sleepers are fundamental element for the superstructure of the national railroads. They have been used on more than 80% of Brazilian railways.

Nowdays the use of traditional native hardwoods for this purpose is practically unfeasible nowadays, due to the high cost of extraction of these trees, and to environmental restrictions and laws. These hardwoods are being substituted by alternative native species, and reforested exotic species.

The introduction of new species of wood for this specific usage would induce the establishment of more rigorous quality evaluation criteria. However, conventional tool up to now available for that evaluation is still limited. In most cases, the evaluation of the structural performance of this elements is done measuring mechanical properties on Lab, using conventional destructive tests.

Initial studies, developed at the Material Tests Laboratory – Department of Rural Engineering – FCA – UNESP, have indicated the possibility of the use of the expedite tests (hardness, for instance) done on field condition, for the inference of wood quality to railway sleepers.

This paper had the objective of evaluating the sensibility of both stress wave method and ultrasonic method on the elastic (MOE) and mechanical (strength on compression parallel to grain) characterization of several alternative woods species with increasing usage for the production of railroad sleepers.

Results had corroborated this hypothesis. Determination coefficient of linear regression between the main variables on non-destructive techniques and the destructive ones were almost all the times upper than 70%.

3 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos as ferrovias brasileiras vêm sofrendo um processo de degradação paulatina. Isto se deve, sobretudo, à política brasileira que incentivou, a partir de 1961, a implantação de forte conglomerado industrial no setor automobilístico. Com a ampliação da malha rodoviária, o transporte ferroviário passou a sofrer forte concorrência, em mercado que, até então, lhe era cativo.

Com o crescimento das rodovias, a distância entre produtor, fornecedor e consumidor foi reduzida, motivo pelo qual, gradativamente, o transporte ferroviário ficou relegado a um segundo plano.

Nos dias atuais, a retomada da utilização ampla e generalizada da malha ferroviária só seria viável com o investimento de elevadas cifras para a sua reconstrução e modernização, sem contar o montante que deveria ser aplicado para a ampliação da mesma, de maneira a torná-la compatível com as dimensões e necessidades do nosso país.

Em sua grande maioria, as companhias de estradas de ferro brasileiras utilizam, em larga escala, dormentes de madeira em suas vias permanentes - mais de 80% da malha ferroviária brasileira está operando com a utilização de dormentes de madeira. Com a falta de manutenção, os dormentes são os elementos da superestrutura que apresentam maior degradação, inviabilizando ou restringindo a utilização plena da ferrovia.

Quando da implantação das ferrovias, a disponibilidade de madeiras nativas indicadas para esse uso foi grande. Entretanto, com o uso indiscriminado e sem controles — para a garantia da renovação dessas espécies — hoje, empregá-las com tal finalidade tornou-se proibitivo, devido à relativa escassez, preços abusivamente elevados, ou até mesmo restrições legais para a proteção dessas espécies, fazendo com que o mercado busque novas alternativas para o setor.

Em vista desta situação, a utilização de dormentes produzidos de madeiras provenientes de reflorestamento vem se tornando uma opção cada vez mais freqüente, particularmente em função dos custos atraentes que elas apresentam e a sua maior disponibilidade.

Assim, o gênero *Eucalyptus*, sobretudo, tem respondido satisfatoriamente quando utilizado com essa finalidade, apesar de apresentar alguns limitantes como a forte tendência ao fendilhamento do topo, tanto quanto lavrado ou serrado e a sua baixa durabilidade em relação a outras espécies de uso consagrado em dormentação, como o jatobá, por exemplo.

Atualmente os problemas incidentes devido ao uso de espécies de reflorestamento vêm sendo minimizado com o emprego de técnicas adequadas para o corte e a secagem dessa madeira, com a utilização de espécies menos susceptíveis ao fendilhamento (*Eucalypto citriodora*, por exemplo) e com tratamentos preservantes mais efetivos. Nesse último aspecto uma das práticas mais utilizadas para o tratamento da madeira de *Eucalypto* é a autoclavagem, processo industrial de tratamento que impregna, de forma mais efetiva, a madeira com produtos inseticidas e fungicidas de ação comprovada. Mesmo com esse processo industrializado, muitas espécies como o *Eucalypto* apresentam seu cerne refratário a essa impregnação (retenção muito pequena da solução).

Sob a óptica ambientalista, a utilização de madeiras de reflorestamento é sempre bem vinda, pois contribui para aliviar as freqüentes derrubadas indiscriminadas que ocorrem sobretudo nas florestas nativas do Norte e Centro-norte do país.

Segundo a EMBRAPA (2001) – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2001), atualmente a indústria florestal brasileira planta cerca de 500.000 árvores por dia, os quais apresentam ciclo de vida curto (crescimento rápido). Segundo a empresa, mesmo desconsiderando os fortes argumentos ambientalistas, as evidências empresariais demonstram que desmatamentos na região Amazônica apresentam retorno financeiro que não ultrapassa a 4%, enquanto que o retorno advindo do manejo florestal, pode ser superior a 33%.

Considerando o crescente e ainda tecnicamente inconsistente uso de madeiras nativas alternativas de madeiras de reflorestamento para dormentes, e a necessidade de controlar e garantir a qualidade nesse processo, este trabalho teve como objetivo principal o estudo da viabilidade de emprego de ensaios não-destrutivos, como o ultra-som e as ondas de tensão, na caracterização elástica e da resistência de algumas amostras de madeiras utilizadas para esse fim pelas empresas ferroviárias.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Especificações gerais para dormentes de madeira

Dormente ferroviário é definido por Brina (1988), como o elemento que tem por função receber e transmitir para o lastro, os esforços produzidos pelas cargas dos veículos, servindo de suporte dos trilhos, permitindo sua fixação e mantendo invariável o espaçamento entre eles (bitola).

Para os dormentes de via férrea, o autor afirmou que o dormente de madeira, em comparação com outros tipos, entre eles dormentes de concreto e aço, reúne quase todas as qualidades exigidas para esse elemento estrutural, razão pela qual continua, até os dias atuais, a ser o principal tipo utilizado nas ferrovias nacionais.

A norma brasileira de dormentes de madeira NBR 7511/82 (ABNT, 1982), não apresenta critérios específicos para a qualificação geral de madeiras destinadas para dormentes, tratando-as simplificadaamente como “madeiras de lei” e “madeiras brancas”. Em vista dessa limitação normativa, as empresas ferroviárias, através de documentos técnicos internos próprios, fornecem, com base exclusiva em sua experiência acumulada, listas de espécies com desempenho considerado satisfatório para uso como dormentes.

Nessas classificações, no geral, o desempenho das espécies é avaliado através de algumas propriedades físicas e mecânicas, e eventuais ponderações de duas ou mais propriedades, na forma de índices de desempenho, que traduzem a performance da madeira para esse uso. Quanto maior for o valor do índice, melhor será o desempenho da madeira.

Niederauer (1982) destacou as potencialidades inerentes dos eucaliptos para a confecção de dormentes “roliços”, “uma face” e “duas faces”. O autor apresentou tabelas comparativas que evidenciaram a proximidade de desempenho físico e mecânico de algumas espécies de eucalipto, “madeiras de lei” e “madeiras brancas”, as quais já se apresentam consagradas, devido ao seu prolongado uso como dormente (Quadros 1 e 2).

Quadro 1 - Características físico-mecânicas de madeiras de uso na dormitação

Nome vulgar ¹	P. Espec. (t/m ³)	Flexão estática		Módulo de elasticidade		Flexão	Dureza	Arranc. frontal	
		Mad. Verde (MPa) (1)	Mad. 15% (MPa)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Dinâm. (kgf.m) (3)	Janka (MPa) (4)	Gra mpo (kN) (5)	Tirefon (kN)
Angico-vermelho	0,97	104,2	143,4	13.130	12.445	6,8	101	34,2	—
Grapia	0,83	95,3	120,0	15.030	11.780	4,3	72	31,1	—
Canafístula	0,87	102,8	120,9	17.220	12.240	2,6	88	35,4	75
Canela-de-veado	0,89	103,4	135,2	13.486	13.202	4,5	76	29,6	—
Canela-imbuia	0,65	78,4	93,4	9.000	7.890	2,1	44	—	—
E. citriodora	0,98	150,0	167,3	21.000	17.700	7,2	91	34,5	—
E. maculata	0,93	125,5	154,6	21.069	18.420	7,1	87	24,8	—
E. paniculata	1,11	148,1	187,1	23.497	21.488	7,2	111	37,1	—

¹ No trabalho fonte, não consta os nomes científicos.

² Consideração exclusiva das espécies mais indicadas para uso como dormentes, segundo Niederauer (1982).

³ Angico-vermelho, grapia, canafístula, canela-de-veado, peroba-rosa, canela-imbuia, jatobá, aroeira.

⁴ Açúcará, açoita, canela-amarela, canela-lageana, canela-loura, cangerana, camboatá, guatambú, guajuvira, mameleiro-do-mato, maria-preta, pessegueiro-bravo, pequiá, rabo-de-bugio, sapopema.

E. siderophloia	1,11	133,3	181,7	21.311	18.865	6,1	107	36,2	—
E. tereticornis	0,95	127,0	157,6	16.380	13.320	6,0	84	30,4	—

Fonte: Niederauer (1982)

Quadro 2 - Valores médios de algumas propriedades de grupamentos de madeira

MADEIRA	P. Espec. (t/m ³)	Dureza Janka (MPa)	Arranc. frontal (kN)	Flexão estática (MPa)
gênero <i>Eucalyptus</i> ²	0,88	87,1	29,8	155
madeiras de lei ³	0,84	77,1	32,6	120
madeiras brancas ⁴	0,73	58,1	26,5	107

Embora se tratem de dados médios e generalizados, por eles evidencia-se que o gênero *Eucalyptus* apresenta um grande potencial de uso para a dormentação. De fato, trabalhos científicos nacionais e internacionais são unânimes, na recomendação da madeira do gênero eucalipto, dentre as provenientes do reflorestamento, como a mais indicada na produção de dormentes.

Conforme salientado por Niederauer (1982), nos casos de utilização de dormentes de eucalipto, além da tradicional forma prismática (Figura 1) torna-se ainda freqüente o uso de dormentes de duas faces (Figura 2), de uma face (Figura 3) e de dormentes roliços, “round-ties” (Figura 4).

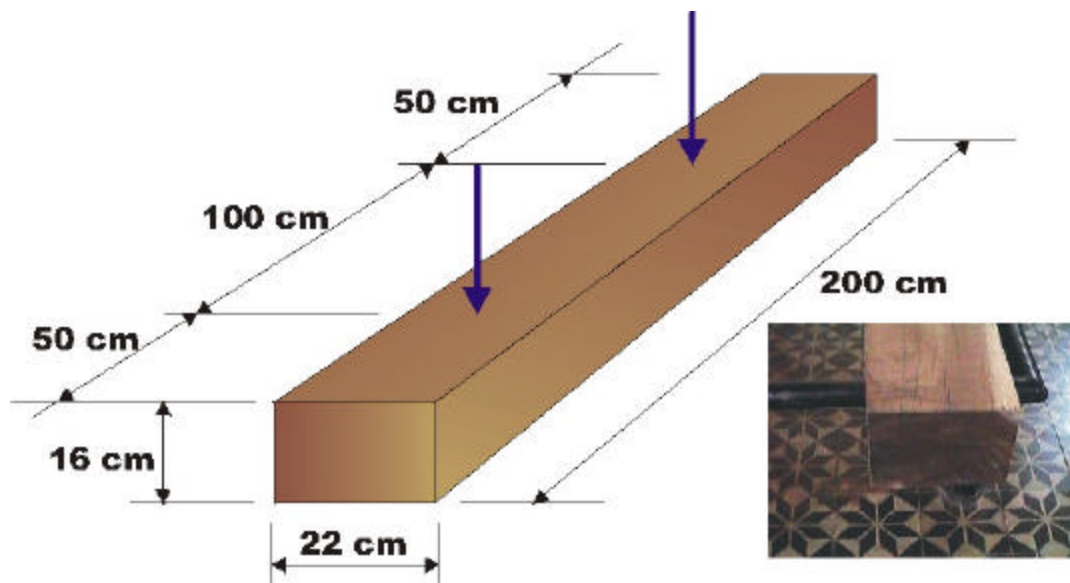


Figura 1 - Dormente prismático - Dimensões nominais (em cm) para bitola métrica. Para bitola larga, a altura, largura e comprimento alteram-se, respectivamente, para 17 cm, 24 cm e 280 cm.

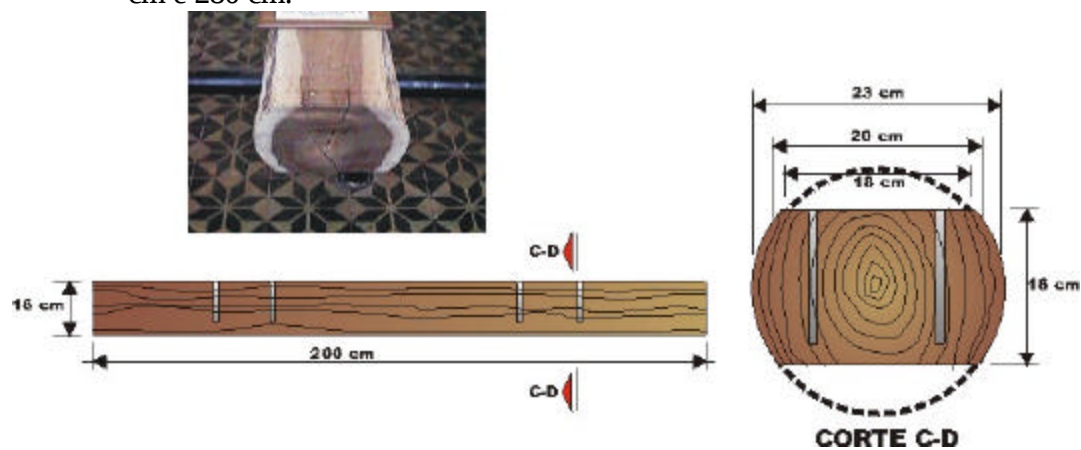


Figura 2 - Dormente duas faces - dimensões nominais (em cm) para bitola métrica. É normalmente produzido a partir de toras com 23 cm a 28 cm de diâmetro, das quais são serradas somente duas costaneiras.

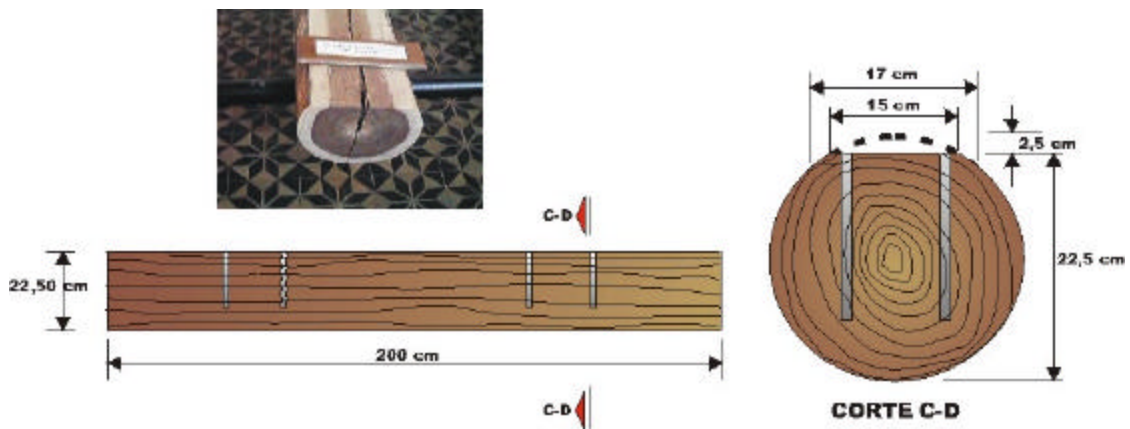


Figura 3 - Dormente uma face - dimensões nominais (em cm) para bitola métrica. É normalmente produzido a partir de toras com 23 cm a 28 cm de diâmetro.

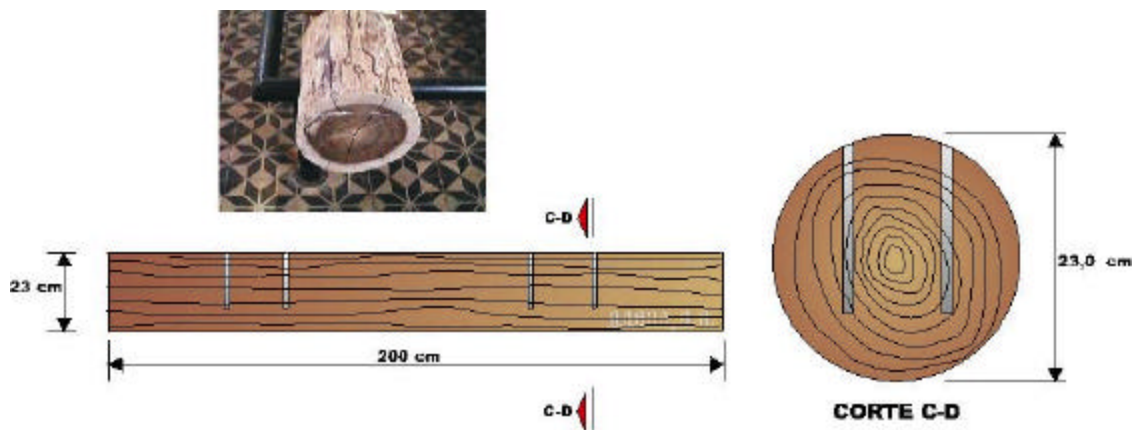


Figura 4 – Dormente roliço, (*round-ties*)- dimensões nominais (em cm) para bitola métrica.

A RFFSA (1979), em seu documento técnico – EVA 15, classifica os dormentes prismáticos em: reforçados, normais e de pálios ou desvios, sendo suas dimensões mínimas apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Dimensões mínimas exigíveis para dormentes prismáticos de madeira na RFFSA.

		BITOLA	
	DIMENSÕES	MÉTRICA (1,00 m)	LARGA (1,60 m)
REFORÇADOS	comprimento	2,05	2,85
	largura	0,22	0,24
	altura	0,16	0,18
NORMAIS	comprimento	1,95	2,75
	largura	0,20	0,22
	altura	0,15	0,16
DE PÁTIO	comprimento	1,80	2,75
	largura	0,18	0,20
	altura	0,14	0,15

Fonte: RFFSA-EVA15

Ainda no mesmo documento técnico EVA – 15, as madeiras para dormentes são classificadas em 3 classes, sendo:

- 1ª classe : madeiras de grande resistência físico – mecânica, podendo ser utilizadas, inclusive nas linhas de tráfego pesado;
- 2ª classe: madeiras de resistência físico – mecânica mediana, passíveis de aproveitamento nos desvios e pátios das linhas de tráfego pesado e nas linhas principais de tráfego médio;
- 3ª classe: madeiras para a utilização, de preferência, nas linhas de tráfego leve e muito leve.

Verifica-se que existe uma forte tendência no mercado, no sentido de escolher apenas madeiras de 1ª classe.

O impasse maior para viabilizar essa idéia fica por conta do preço, já que as madeiras de boa qualidade utilizadas na fabricação de dormentes podem ser aproveitadas para finalidades mais nobres. Além disso a escassez dessas espécies vem acarretando o crescente aumento de seus preços.

O mesmo documento classifica os dormentes em categorias, de acordo com o tipo de madeira, a saber:

- dormentes da 1ª categoria: sucupira, aroeira do sertão, faveiro, ipê roxo, ipê tabaco, jacarandá e cabriúva vermelha e pereira;

- b) dormentes de 2ª categoria: angico preto, braúna, canela-preta, guarabu, maçaranduba, angico-vermelho, amoreira, ipê-amarelo, peroba-mirim ou revessa, peroba rosa, amendoim.

Ainda segundo os autores existem também dormentes com dimensões especiais, para emprego nas pontes e aparelhos de mudança de via (AMVs).

4.2 Métodos convencionais de avaliação de madeiras para dormentes

A prática utilizada extensivamente pelas empresas ferroviárias na avaliação das madeiras para dormentes é a de propor o uso exclusivo de espécies já consagradas para essa finalidade, e apresentadas em documentos técnicos internos das empresas. Contudo, da análise comparativa desses documentos nota-se que, em muitas situações, as recomendações das empresas são conflitantes.

O novo texto normativo sobre dormentes de madeira, que substituirá a NBR 7511 (ABNT, 1982) e está em fase de elaboração final pela Comissão de Estudos CE: 06.001.01 – CB6 – Comitê Brasileiro Metro-Ferrovário, especifica duas classes de madeiras, definidas pelos seguintes valores mínimos de propriedades físico-mecânicas.

Quadro 4- Valores mínimos de propriedades das madeiras para dormentes ferroviários.

Propriedade		Símbolo	Unidade	Valores Mínimos	
				Classe I	Classe II
01	Densidade de Massa Aparente	ρ_{ap}	kg/m ³	750	600
02	Dureza Janka	f_H	MPa	50,00	40,00
03	Resistência ao Cisalhamento	f_{v0}	MPa	10,00	8,00
04	Resistência à Tração Normal	f_{t90}	MPa	7,50	5,00
05	Resistência ao Fendilhamento	f_s	MPa	0,90	0,70
06	Índice de Coesão	I_{1*}	MPa	0,30	0,20
07	Dureza + resist. Cisalhamento + Resist. Tração Normal + resist. Fendilhamento		MPa	68,40	53,70

* (Definido na Equação 1)

Fonte: CE: 06.001.01-ABNT

Como primeira propriedade de real importância e fácil mensuração prática na avaliação de madeiras para dormentes, tem-se a densidade de massa aparente (ou simplesmente densidade aparente) que, para esse caso específico, deveria ser avaliada na faixa de umidade entre 18% e 24%, essa faixa representa melhor as condições de estocagem e de campo dos dormentes, conforme apresentado por Colenci (2002).

Na avaliação de madeiras para dormentes a dureza Janka (avaliada tanto na direção normal quanto na direção paralela às fibras) evidencia-se, também, como propriedade de interesse e fácil mensuração em condições de campo. Embora, para alguns autores seja considerada uma propriedade mecânica sem aplicação imediata ou direta dos seus resultados, subsiste como propriedade de real importância na caracterização mecânica de madeiras por ser importante parâmetro de comparação entre espécies.

Em ensaios realizados pelo IBAMA (1993), estudando madeiras da região de Tapajós (PA) e da Estação Experimental do Curuá-Una, num total de 68 espécies, apresentaram-se correlações entre a compressão normal às fibras e as durezas (normal e paralela às fibras) nas condições de madeira verde e seca ao ar (U=12%). Os valores de compressão normal às fibras foram referidos, naquele trabalho, como “esforço no limite proporcional”.

As Figuras 5 e 6 mostram as correlações entre esse parâmetro e as durezas normal e paralela, respectivamente, para a condição de madeira seca ao ar (U=12%).

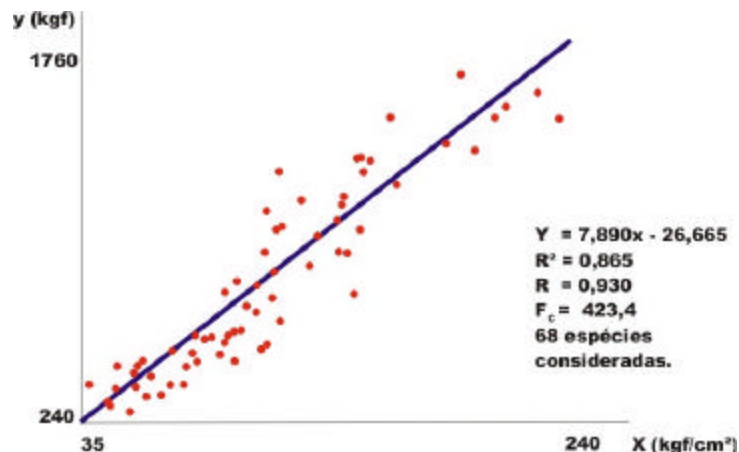


Figura 5- Relação linear entre a dureza normal às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca.

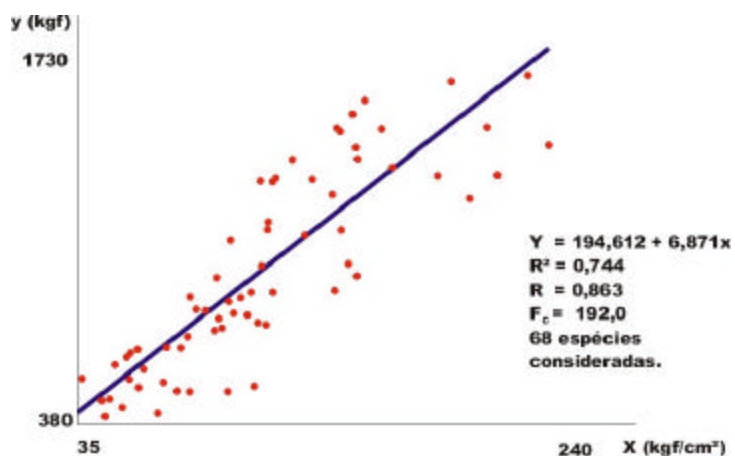


Figura 6- Relação linear entre a dureza paralela às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca.

Observaram-se coeficientes de determinação das regressões (R^2) de 0,865, quando do uso da dureza normal às fibras, e 0,744, quando do uso da dureza paralela às fibras.

No estudo do IBAMA (1993), avaliações análogas, encaminhadas na situação de madeira verde, levaram a coeficientes de determinação das regressões de 0,805 e 0,734, para os casos de dureza normal e paralela às fibras, respectivamente.

Mais recentemente, Colenci (2002) estudou as correlações entre as durezas normal e paralela e a compressão paralela às fibras em três amostras de madeiras para dormentes (*Lauraceae*, *Vochysiaceae* e *E. citriodora*). As resistências, obtidas nos ensaios, foram reportadas

tanto para as umidades de ensaio ($15\% \leq U \leq 25\%$), quanto para a umidade de referência dos corpos-de-prova ($U=12\%$).

As Figuras 7 e 8 apresentam as correlações entre a dureza paralela às fibras (f_{H0}) e a compressão paralela às fibras (f_{c0}), para o intervalo de umidades total ($15\% \leq U \leq 25\%$) e para a umidade de referência ($U=12\%$), respectivamente.

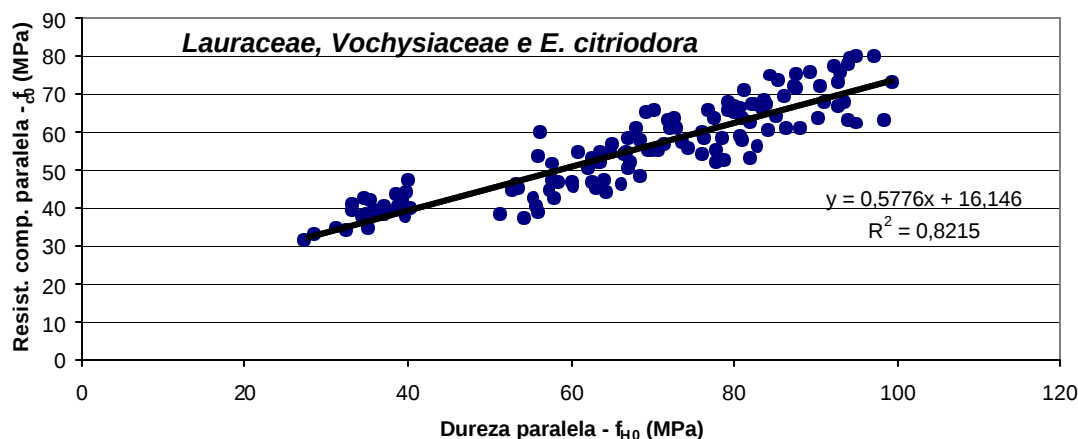


Figura 7 – Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – valores para umidades variáveis nos lotes.

O estudo das correlações foi conduzido adotando-se nível de significância de 5%.

As regressões resultaram mais significativas ($R^2=0,8215$) quando a análise foi conduzida para os 130 exemplares, ignorando-se as diferenças de umidade entre os corpos-de-prova. A correlação entre as propriedades, expressa no gráfico da Figura 7, é válida, portanto, para o intervalo de umidades estudado ($15\% \leq U \leq 25\%$).

Contrariamente, corrigindo-se os valores das duas propriedades para a condição de referência ($U=12\%$), observou-se um coeficiente de determinação inferior para a regressão.

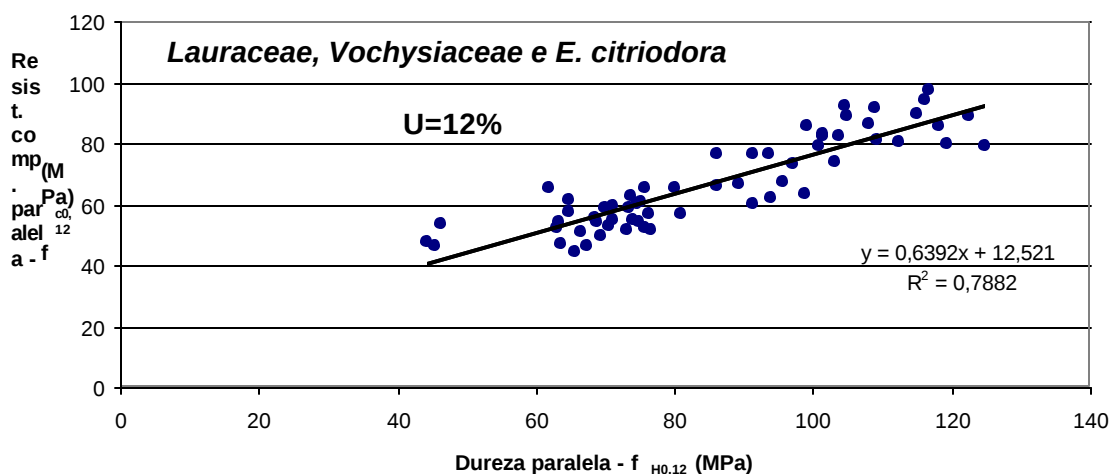


Figura 8 – Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – valores corrigidos para a umidade de referência de 12%.

Análise semelhante, conduzida na correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras, revelou os resultados expostos nas Figuras 9 e 10.

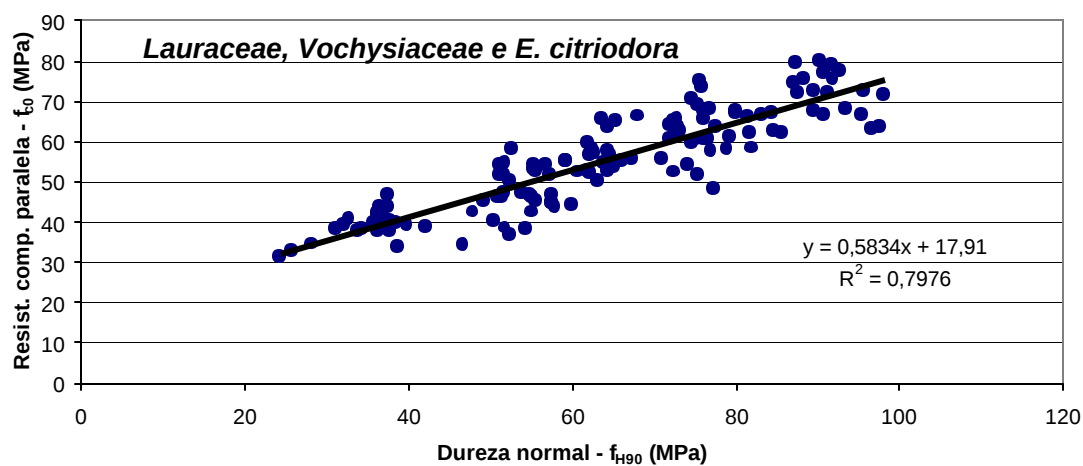


Figura 9 – Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – valores para umidades variáveis nos lotes.

Novamente, da análise conjunta dos resultados apresentados nas Figuras 9 e 10, nota-se que seria injustificável a correção dos valores de resistência obtida para a umidade de referência de 12%.

As correlações obtida por Colenci (2002), entre a dureza (paralela e normal às fibras) e a resistência à compressão paralela, resultaram bastante próximas daquelas reportadas no estudo do IBAMA (91993). Contudo, para as condições do estudo de Colenci (2002), a melhor correlação foi obtida quando da utilização da dureza paralela às fibras como variável independente, contrariamente ao que fôra observado no estudo do IBAMA (1993).

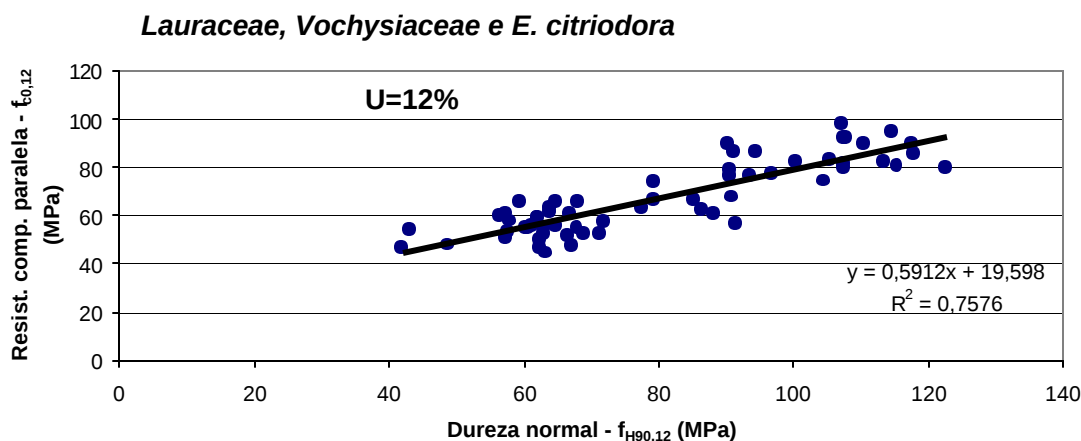


Figura 10– Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – valores corrigidos para a umidade de referência de 12%.

Considerando-se que os coeficientes de determinação obtidos resultaram sempre superiores a 70% em todas as situações, pode-se assumir que a resistência à compressão paralela às fibras das madeiras estudadas pode ser estimada a partir dos resultados de ensaios de dureza (normal ou paralela às fibras).

Excluindo-se a densidade de massa aparente e a dureza Janka das propriedades listadas no Quadro 4, anterior, as demais propriedades são comumente utilizadas na composição de índices de desempenho de madeiras para dormentes.

Dentre esses índices, o mais utilizado pelas companhias ferroviárias é o “índice de coesão” (I_1), expresso por:

$$I_1 = \frac{f_{t,90} \cdot \epsilon_{r,r}}{\rho \cdot \epsilon_{r,t} \cdot \epsilon_{r,v}} \quad , \text{ onde:} \quad (1)$$

Fonte: Ballarin, A. W. (1999)

- $f_{t,90}$ - resistência da madeira à tração normal às fibras, em kgf/cm²;
- $\epsilon_{r,r}$ - deformação específica por contração total da madeira, na direção radial, em porcentagem;
- $\epsilon_{r,t}$ - deformação específica por contração total da madeira, na direção tangencial, em porcentagem;
- $\epsilon_{r,v}$ - contração volumétrica total da madeira, em porcentagem;
- ρ - densidade da madeira, em g/cm³.

Considerando-se que a resistência à tração normal às fibras não é uma propriedade com valores já determinados para todas as madeiras e que, com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) a metodologia para a determinação desta propriedade foi alterada, em relação ao antigo código (NB-11), existem outros itens, que foram propostos por Ballarin et al. (1998), nos quais esta propriedade não foi considerada. São eles:

$$I_2 = \frac{(f_{c,0} + \rho) \cdot \epsilon_{r,r}}{\epsilon_{r,t} \cdot \epsilon_{r,v}} \quad e$$

(2)

$$I_3 = \frac{(f_{c,0} + \rho)}{\epsilon_{r,v}}, \text{ onde:}$$

(3)

$f_{c,0}$ - resistência da madeira à compressão paralela às fibras, em Mpa, e

ρ - densidade da madeira, em kg/cm³.

O Quadro 5, retirado de Ballarin et al. (1998), apresenta a classificação dos três índices considerados, para algumas espécies de madeiras.

Os números indicam a posição obtida em um total de 265 espécies e, por esse critério, o Eucalipto citriodora alcança uma classificação intermediária, podendo ser utilizado como uma espécie alternativa. Da mesma forma, o Angico vermelho e a Peroba rosa.

Quadro 5- Classificação de algumas espécies de madeiras para uso como dormentes, segundo seus índices de desempenho.

Nº	Nome Comercial	Nome científico	Classif. Obtida		
			I ₁	I ₂	I ₃
1	Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	16	16	4
2	Ipê	<i>Tabebuia ochracea</i>	6	6	5
3	Aroeira-do-sertão	<i>Astronium urundeuva</i>	59	62	8
4	Pau roxo	<i>Peltogyne confatiflora</i>	70	34	12
5	Piquiá	<i>Caryocar villosum</i>	78	79	244
6	Angico vermelho	<i>Piptadenia rigida</i>	123	127	163
7	Peroba rosa	<i>Aspidosperma polyneurom</i>	64	66	66
8	Eucalipto paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	228	231	151
9	Eucalipto citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	58	61	84
10	Eucalipto tereticornis	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	215	219	175

Por fim, na avaliação de madeiras para dormentes poder-se-ia adotar o critério sugerido pela norma NBR 7190/97 (ABNT,1997) e aplicado, no geral, para as estruturas de madeira.

Através dele, as madeiras são classificadas em classes de resistência (classe C40, por exemplo – Quadro 6), definidas pelo valor da resistência característica à compressão paralela às fibras do lote de madeira. Simplificadamente, a resistência característica da madeira à compressão paralela às fibras ($f_{co,k}$) pode ser assumida como 70% do valor da resistência média à compressão paralela às fibras do lote ($f_{co,k} = 70\% f_{co,médio}$).

Para efeito dessa norma os valores de resistência são referidos à umidade de 12% e são apresentados no Quadro 6

Quadro 6 - Classes de resistência da madeira

CONÍFERAS					
CLASSE	$f_{c0,k}$	$f_{v,k}$	$E_{c0,m}$	r_{bas}	$r_{apar} (12\%)$
	MPa			kg/m ³	
C 20	20	4	3500	400	500
C 25	25	5	8500	450	550
C 30	30	6	14500	500	600
DICOTILEDÔNEAS					
CLASSE	$f_{c0,k}$	$f_{v,k}$	$E_{c0,m}$	r_{bas}	r_{apar}
	MPa			kg/m ³	
C 20	20	4	9500	400	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

$f_{c0,k}$ = Resistência característica à compressão paralela às fibras
 $f_{v,k}$ = Resistência característica ao cisalhamento
 $E_{c0,m}$ = Módulo de elasticidade paralelo às fibras, médias
 ρ_{bas} = Densidade básica
 ρ_{apar} = Densidade aparente a 12%.

Fonte: NBR 7190/97

Os valores especificados pela norma NBR 7190/97 (ABNT,1997), para as propriedades de resistência da madeira são os correspondentes à classe 1 de umidade ($U_{amb} \leq 65\%$ - $U_{eq} = 12\%$), que se constitui na condição-padrão de referência, definida pelo teor de umidade de equilíbrio da madeira de 12%.

Na caracterização usual das propriedades de resistência de um dado lote de material, os resultados de ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10% e 20%, devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%, classe 1, com uso da seguinte expressão:

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right], \text{ onde:} \quad (4)$$

f_{12} = resistência à determinada solicitação, a um teor de umidade de 12%;

$f_{U\%}$ = resistência à determinada solicitação, a um teor de umidade de U%;

U% = teor de umidade da madeira, em %.

Para correção dos valores de módulos de elasticidade a expressão (4) é alterada, com uso de um fator de influência igual a 2 (em substituição ao fator 3 adotado na expressão apresentada).

4.3 Métodos não-destrutivos de avaliação de madeiras para dormentes

Os ensaios não-destrutivos tem o objetivo de verificar a existência de descontinuidades ou defeitos em materiais, sem alterar as características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais dos produtos e, também, não interferindo em seu uso posterior.

Dentre os principais ensaios não-destrutivos aplicados à madeira (Ballarin e Gonçalves, 2001) merecem destaque os de ondas de tensão e ultra-som.

4.3.1 Ondas de tensão

No método das ondas de tensão, internacionalmente referido como “*stress wave*”, uma onda é induzida numa das extremidades ou face do material, através de um impacto. Essa onda se propaga pelo material, sendo as características principais dessa transmissão como a velocidade e a atenuação, parâmetros intrínsecos do meio no geral a onda se propaga no material e da sua integridade física.

O método de ensaio fundamenta-se de forma simplificada na teoria de propagação unidimensional das ondas para uma barra homogênea e elástica, conforme ilustrado na Figura 11.

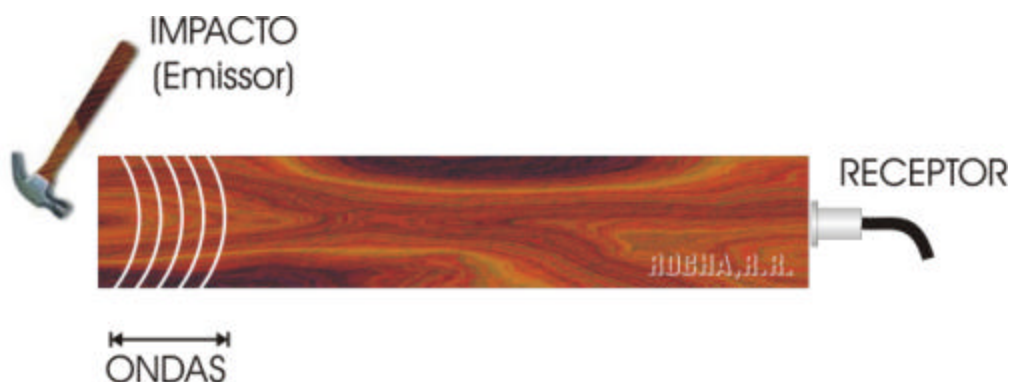


Figura 11 - Barra elástica, submetida a um impacto.

Ao se impactar a peça num determinado ponto de sua extremidade, um conjunto de ondas é formado e, imediatamente movimenta-se na direção do impacto. Num primeiro momento, as partículas do material junto da seção que contem o ponto de impacto se apresentam excitadas, enquanto que as partículas das demais seções permanecem em repouso. Considerando-se um corpo ideal, num instante posterior, a onda caminha através da barra com velocidade constante, mas suas partículas experimentam somente um leve movimento longitudinal, resultante da passagem da onda por elas. Após percorrer toda a extensão da barra, a onda é refletida pela extremidade oposta, retornando ao seu ponto de origem.

Os sucessivos caminhamentos da onda pela barra fazem com que sua energia seja gradativamente dissipada. Dessa forma, mesmo que a velocidade de deslocamento da onda permaneça constante, o movimento das partículas da barra diminui a cada passagem sucessiva pela barra, decorrendo que, após um determinado tempo, todas as partículas da barra retornam à condição inicial de repouso.

Ao se monitorar o movimento das ondas na face oposta da extremidade no qual se produziu o impacto, observa-se uma série de pulsos igualmente espaçados, cuja amplitude diminui ao longo do tempo.

Hearmon (1966), desenvolveu o equacionamento teórico da propagação da onda na vibração longitudinal.

Considere-se uma barra OP (Figura 12), com comprimento L, e uma seção transversal QR, a uma distância (x) da extremidade da barra, em equilíbrio. Quando, com o impacto, houve perturbação do equilíbrio, representando-se como “u” o deslocamento longitudinal da seção transversal QR no instante t, sua nova posição passará a ser representada por (x+u).

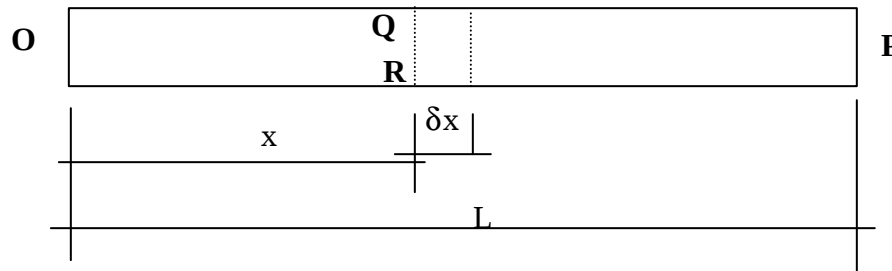


Figura 12 – Suposições básicas para o equacionamento teórico do método das ondas de tensão

Fonte: Hearmon (1966)

Similarmente, uma seção transversal distante (x+δx) da origem “O” terá sua posição inicial alterada para:

$$x + d x + u + \frac{du}{dx} d x \quad (5)$$

A mudança no comprimento da seção de comprimento δx será $\frac{du}{dx} d x$, e

a deformação específica por tração (alongamento específico) será $\frac{du}{dx}$.

Assim, sendo “E” o módulo de elasticidade, a tensão de tração σ_T na seção será:

$$S_T = E \cdot \frac{du}{dx} \quad (6)$$

Se a área de seção transversal for dada por “A”, a força que atua na face esquerda da porção infinitesimal considerada será dada por:

$$E A \frac{du}{dx} \quad (7)$$

A força que age na face direita, em $x + dx$, será:

$$E A \left(\frac{du}{dx} + \frac{d^2u}{dx^2} \delta x \right) \quad (8)$$

Dessa forma, das Eqs. (7) e (8) tem-se que a força resultante na porção infinitesimal é:

$$E A \frac{d^2u}{dx^2} \delta x \quad (9)$$

Tomando-se a massa da seção como $\rho.A.\delta x$, onde ρ é a densidade de do material, e comparando-se a força da expressão (9) com o produto de massa pela aceleração, tem-se:

$$E A \frac{d^2u}{dx^2} \delta x = \rho A \frac{d^2u}{dt^2} \delta x \quad (10)$$

resultando:

$$\frac{d^2u}{dt^2} = \frac{E}{\rho} \frac{d^2u}{dx^2} \quad (11)$$

Esta é a equação de propagação da onda unidimensional em um meio homogêneo e elástico, cuja solução é:

$$u = F_1(x - vt) + F_2(x + vt), \text{ onde} \quad (12)$$

v é a velocidade de propagação, e F_1 e F_2 são funções arbitrárias.

Diferenciando-se duas vezes a expressão (12), para x e t , e tomando-se

$$(E/\rho)^{1/2} = v \quad (13)$$

verifica-se que a equação (11) está satisfeita.

Assim, resumidamente, pode-se expressar o módulo de elasticidade dinâmico obtido pela técnica da propagação de ondas unidirecionais em meio homogêneo e elástico é aqui expresso como $E_{d,ot}$, como:

$$E_{d,ot} = v^2 \cdot \rho_{apar} \quad \text{onde:} \quad (14)$$

$E_{d,ot}$ - módulo de elasticidade dinâmico;

v - velocidade de propagação da onda de tensão;

ρ_{apar} - densidade (aparente) do material.

A grande maioria dos pesquisadores ainda tem trabalhado com a relação (14) considerando-se a densidade básica (ρ_{bas}) como multiplicador, ficando:

$$E_{d,ot} = v^2 \cdot \rho_{bas} \quad (15)$$

ρ_{bas} - densidade (básica) do material.

Embora todo esse equacionamento tenha sido embasado na teoria de propagação de ondas unidirecionais em meio homogêneo e elástico, e facilmente se constata que a madeira não é um material homogêneo nem tampouco isotrópico, diversos pesquisadores têm encontrado bons resultados com uso dessa teoria simplificada.

Na técnica de avaliação das propriedades de um material por meio da propagação de ondas, usualmente empregam-se equipamentos que determinam exclusivamente a sua velocidade de propagação. Com o uso de sensores piezeleétricos, avalia-se o tempo decorrido para a onda deslocar-se do ponto de seu estímulo até o ponto de sua recepção.

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

Em estudos desenvolvidos em 1981 e 1982, Gerhards (1981, 1982), constatou que a presença de nós ou grã inclinada na madeira alteram a frente de propagação da

onda. A alteração foi constatada ao se acompanhar a velocidade de propagação das mesmas, nas proximidades dessas irregularidades, concluindo que, nestes casos, a onda de tensão não mantém uma frente plana de propagação.

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

Na medição da velocidade de propagação das ondas em tábuas verdes e em tábuas na umidade de equilíbrio, Brashaw et al. (1996) observaram forte correlação dos valores entre as duas determinações.

Mesmo com a validação do equacionamento teórico de Hearmon, consubstanciada pelos trabalhos já citados, é sempre recomendada a comparação do valor do módulo de elasticidade obtido através dos ensaios não-destrutivos com aqueles medidos em ensaios estáticos já consagrados (Ross & Pellerin, 1994).

O Quadro 7 apresenta uma compilação de resultados de diversas pesquisas realizadas com uso do método das ondas de tensão.

Quadro 7-Sumário de pesquisas da correlação entre o módulo de elasticidade obtido em função da velocidade de propagação das ondas de tensão e em ensaios estáticos convencionais, para vários materiais à base de madeira.

Referência	Material	Tipo de Ensaio Estático	Coef. Cor. (r)
Bell et al. (1954)	Madeira serrada sem defeitos	Compressão	0,98
		Flexão	0,98
Galligan & Courteau (1965)	Madeira serrada	Flexão	0,96
Kock & Woodson (1968)	Lâminas de madeira	Tração	0,96 – 0,94
Porter et al. (1972)	Madeira serrada	Flexão	0,90 – 0,92
Pellerin & Galligan (1973)	Madeira serrada	Flexão	0,96
	Laminados de madeira	Tração	
Mcalister (1976)	Madeira serrada	Tração	0,96
Gerhards (1982)	Madeira serrada com nós	Flexão	0,87
	Madeira serrada sem defeitos	Flexão	0,95

Fonte: Ross & Pellerin, (1994).

No âmbito nacional, a UFPR – Universidade Federal do Paraná realiza, desde a década de 1990, trabalhos de pesquisa com uso do método das ondas de tensão na avaliação da qualidade de madeira para alguns usos específicos.

Gabriel (2000), estudando a utilização do método na qualificação da madeira serrada de *Pinus taeda* L., obteve as correlações apresentadas nas Figuras 13 e 14, obtidas para corpos-de-prova, com uso das equações 14 e 15, respectivamente.

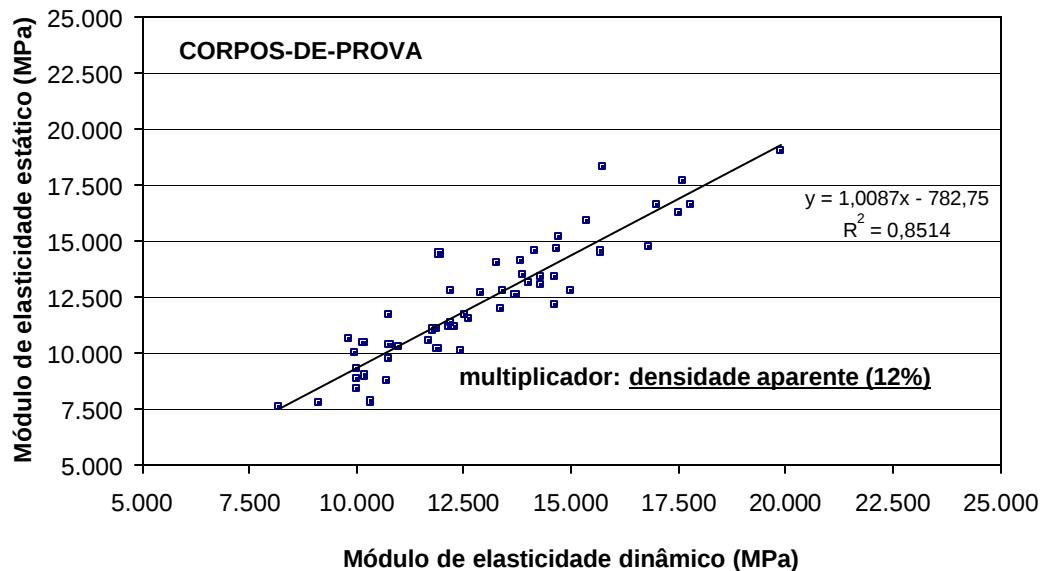


Figura 13 - Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico (eq. 14) e estático (ensaio de flexão) da madeira em equilíbrio (12%).

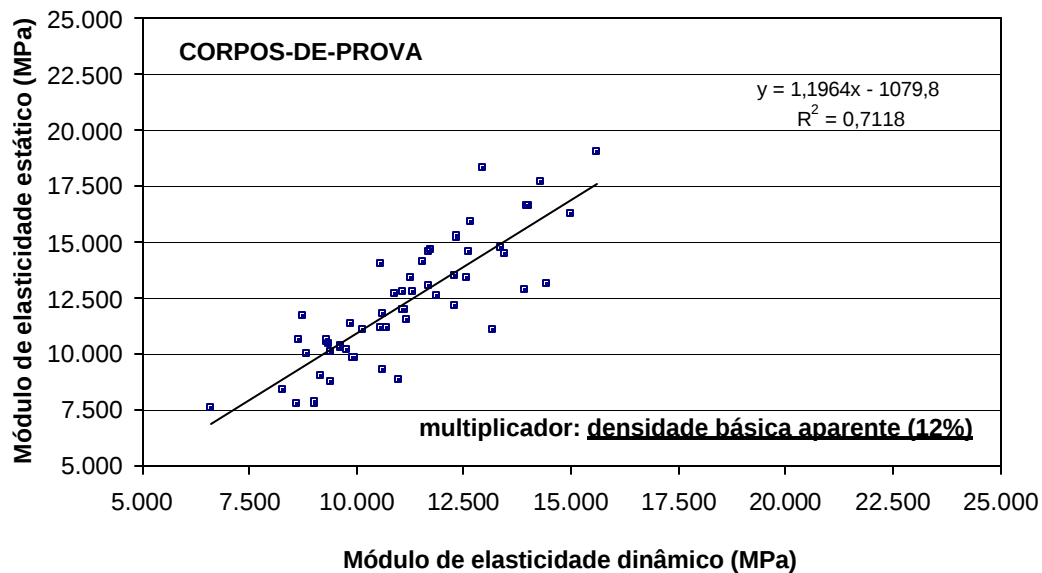


Figura 14 — Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico (eq. 15) e estático (ensaio de flexão) da madeira em equilíbrio (12%).

Fonte: Gabriel (2000).

4.3.2 Ultra-som

4.3.2.1 Introdução

Sons extremamente graves ou agudos podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por caracterizarem vibrações com frequências muito baixas, até 20 Hz (infra-som) ou com frequências muito altas, acima de 20 kHz (ultra-som), ambas inaudíveis conforme a Figura 15.

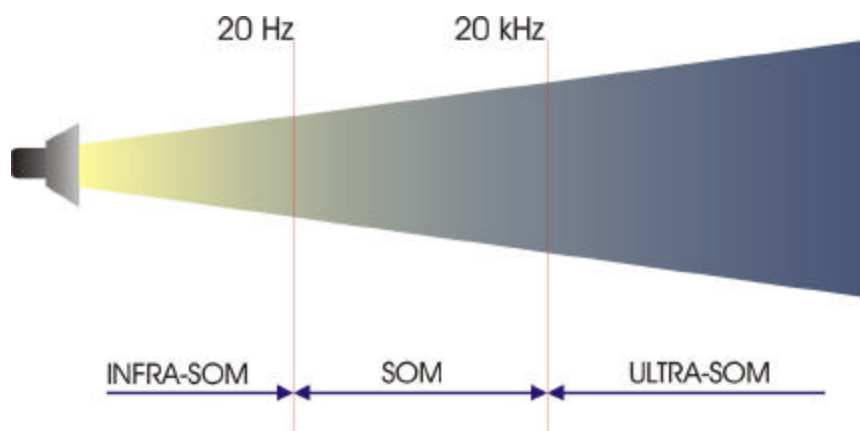


Figura 15 - Campo de audibilidade das vibrações mecânicas. Consideram-se 20 Hz o limite superior audível e denomina-se a partir destas, frequências ultra-sônicas.

Fonte: Andreucci (2002).

Os sons produzidos em um ambiente qualquer refletem-se nas paredes, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes. Fenômenos como estes (reflexão e refração de ondas) constituem os fundamentos do ensaio de ultra-som aplicados aos materiais em geral e, sobretudo aos materiais metálicos. Antigamente, os testes de eixos ferroviários, eram executados por meio de testes com martelo, nos quais o som característico produzido pela peça após sofrerem o impacto do martelo, denunciava a presença eventual de rachaduras ou trincas grosseiras.

Assim, como uma onda sonora reflete, ao indicar um anteparo qualquer, a onda ultra-sônica, ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna deste meio considerado. (Figura 16)

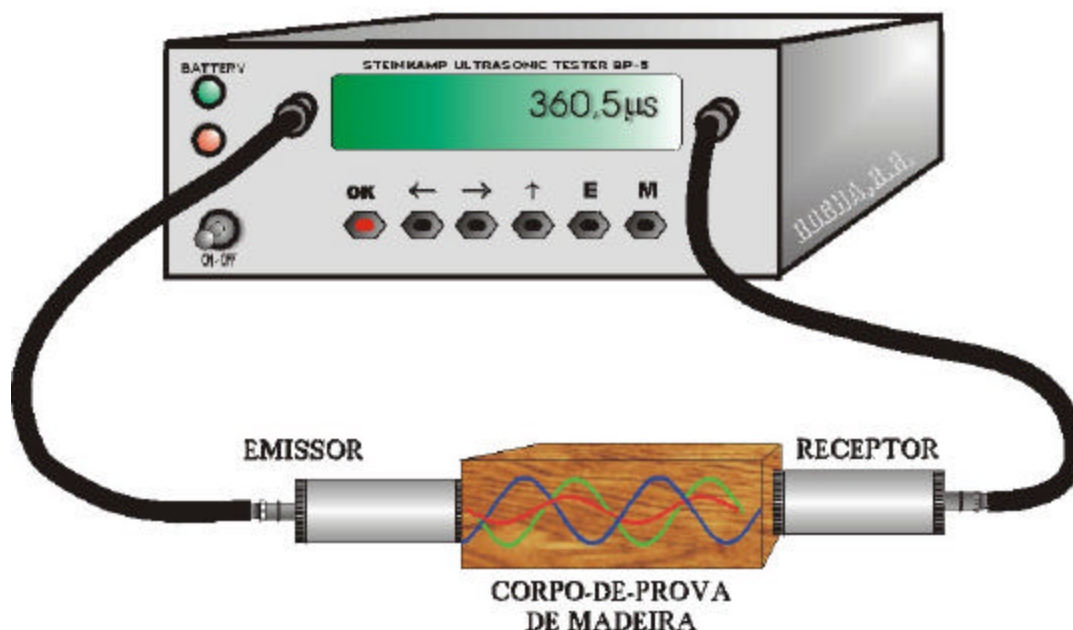


Figura 16 – Demonstração de uso do ensaio de ultra-som na madeira.

O ensaio por ultra-som é caracterizado como sendo um método não-destrutivo, utilizados para a detecção de defeitos ou discontinuidades internas que existem nos mais variados tipos ou formas de materiais, por meio da emissão de um feixe sônico com características compatíveis com a estrutura do material a ser avaliado. Se este feixe sônico for introduzido numa direção favorável em relação à discontinuidade (interface), ou se for refletido por uma discontinuidade, esse fato será evidenciado pela presença de um pico (eco) da onda, no aparelho.

São inúmeras as aplicações deste ensaio: soldas, laminados, forjados, fundidos, madeira acabada e semi-acabada, vidro, borracha, materiais compostos. Nos hospitais utiliza-se o ultra-som para em vários exames, e também para se observar as primeiras imagens de um novo ser humano. Algumas discontinuidades superficiais também podem ser detectadas com este ensaio não-destrutivo. O ensaio de ultra-som é o método não-destrutivo mais utilizado e o que apresenta a maior confiabilidade, para a detecção de discontinuidades internas nos materiais.

Na madeira, em particular, como as fissuras e as discontinuidades são características intrínsecas do material e não caracterizam, necessariamente, falhas na sua constituição,

os ensaios não-destrutivos são usados, em geral, para avaliar como essas ocorrências afetam o desempenho físico-mecânico do material.

4.3.2.2 Tipos de ondas ultra-sônicas

4.3.2.2.1 Ondas longitudinais (ondas de compressão)

Uma onda é longitudinal quando as partículas do meio em que ela se propaga vibram na mesma direção de propagação da onda nesse meio. A distância entre duas zonas de compressão e duas de diluição é o comprimento de onda (λ). Este tipo de onda propaga-se nos sólidos, líquidos e gases. É a onda de maior velocidade de propagação.

4.3.2.2.2 Ondas transversais (ondas de corte ou cisalhamento)

A onda é transversal quando as partículas do meio em que ela se propaga, vibram perpendicularmente à direção de propagação da onda nesse meio. Nesse caso, os planos de partículas no meio de propagação mantêm-se à mesma distância uns dos outros.

Tais ondas não se propagam nos líquidos e nos gases, pois nesses meios não existem ligações mecânicas. Sua velocidade de propagação é aproximadamente a metade da velocidade da onda longitudinal. O comprimento de onda (λ) é a distância entre dois vales ou dois picos. Este tipo de onda é utilizado no ensaio com transdutores angulares e de ondas superficiais.

4.3.2.2.3 Ondas superficiais

São obtidas após a refração da onda longitudinal. Necessita de transdutores de ondas superficiais. Existem três tipos de ondas superficiais, que são: ondas de Rayleigh, ondas de Love e ondas de Lamb. As ondas de Rayleigh são as mais utilizadas nos ensaios não-destrutivos e as demais são utilizadas em casos específicos.

4.3.2.3 Transdutores

Os transdutores são responsáveis pela emissão das ondas ultra-sônicas. Dentro deles está localizado o cristal piezelétrico que vibrará quando for estimulado por pulsos

elétricos vindos de um dispositivo que os controle, localizado no aparelho de ultra-som. Os pulsos elétricos são levados aos transdutores pelos cabos coaxiais.

Existem transdutores de várias formas, tamanhos, ângulos e frequências. Os transdutores são divididos em categorias: transdutores normais, transdutores de duplo cristal (S/E), transdutores angulares, transdutores de ondas superficiais e os especiais, para aplicações específicas.

4.3.2.3.1 Transdutores normais

São aqueles que trabalham com ondas longitudinais no interior das peças. São encontrados em vários diâmetros e frequências. O cristal é circular.

Dentro desta categoria, encontram-se os transdutores normais para ensaio por contato direto e os transdutores normais blindados, que são aplicados no ensaio por imersão.

A faixa de diâmetros de cristais mais utilizados varia de 6,25 mm a 30,0 mm. Existem os transdutores em miniatura com cristais de diâmetros reduzidos, bem como os de diâmetros bem maiores que 30,0 mm. Nesses transdutores o cristal pode atuar como emissor e/ou receptor de onda.

Os transdutores normais para ensaio por imersão são encontrados em vários diâmetros e frequências. O que os diferencia dos transdutores por contato direto é a blindagem necessária para trabalharem submersos e algumas variações na região de saída do feixe, já que não existirá contato direto com a superfície da peça.

4.3.2.3.2 Transdutores com duplo cristal

São transdutores que trabalham com ondas longitudinais no interior das peças. São encontrados em vários diâmetros e frequências.

Estes transdutores são montados com dois cristais que funcionam separadamente. Um cristal é o emissor e o outro cristal é o receptor. É como se existissem dois transdutores completamente isolados, dispostos numa mesma carcaça maior.

Possuem contatos e conectores separados para cada cristal e uma blindagem interna, que evita que as ondas ultra-sônicas emitidas pelo cristal emissor chegue ao cristal receptor sem passar pela peça. Apresentam menor sensibilidade se comparados com os normais.

4.3.2.3.3 Transdutores angulares

São aqueles que trabalham com ondas transversais no interior das peças. São encontrados em vários tamanhos de carcaça e cristais. O cristal deste transdutor é retangular.

Sua construção é bastante similar aos outros, tendo em seu interior os mesmos dispositivos. O que difere é a forma do cristal e seu posicionamento pois, devem ser inclinados num ângulo pré-estabelecido, para que quando o feixe encontrar a interface "transdutor - superfície da peça" (meio 1 e meio 2), seja refratado e forme com a normal o ângulo indicado.

Os transdutores angulares são encontrados na faixa de ângulos de 30° a 80°. Os mais utilizados são os de 45°, 60° e 70°.

Quando recém adquiridos, estes transdutores geralmente apresentam o ângulo muito próximo do indicado em sua carcaça, mas com o desgaste da sapata de acrílico, o ângulo poderá aumentar ou diminuir. Exige a constante calibração do ponto de saída do feixe sônico e do ângulo de incidência.

Sua utilização não é tão simples como o transdutor normal pois como o feixe caminha em um ângulo então não existirá um eco de fundo (eco de espessura). Enquanto não houver uma interface para refletir o feixe sônico, ele percorrerá o interior do material até ser totalmente atenuado.

4.3.2.3.4 Transdutores de ondas superficiais

São aqueles que trabalham com ondas superficiais. São encontrados em vários tamanhos de carcaça e cristais. O cristal é retangular. São semelhantes aos transdutores angulares.

O cristal deste transdutor é montado num ângulo de inclinação em relação à normal, o que faz com que a onda transversal refratada, seja levada para a superfície do meio no qual será transmitida.

4.3.2.4 Acoplante (Gel)

O acoplante é uma substância líquida ou pastosa, que tem por finalidade favorecer a transmissão das ondas ultra-sônicas do transdutor para a peça em ensaio, não deixando ar entre o transdutor e a superfície da peça.

A escolha do acoplante depende das condições superficiais da peça e do tipo de material que está sendo ensaiado.

Numa superfície com bom acabamento, bastará uma camada de um óleo fino. Em superfícies com rugosidade excessiva, será necessário 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 indicadas para metais ferrosos), etc..

Deve-se verificar a compatibilidade entre o acoplante e o material a ser ensaiado. Esse cuidado justifica-se por possíveis reações e ataques, propiciando o surgimento da corrosão.

Para a madeira, utiliza-se normalmente o gel medicinal como acoplante.

No ensaio por imersão, a água é o acoplante. Portanto, quando forem ensaiadas peças de material ferroso, deve adicionar à água, aditivos para evitar corrosão da peça em ensaio, além de antiespumante e bactericida.

4.3.2.5 Ultra-som aplicado à madeira

Países como Canadá, Suíça França, Japão e Estados Unidos vêm investindo recursos e esforços no desenvolvimento de novas técnicas de avaliação das propriedades da madeira. Um dos grandes avanços neste sentido é a utilização do ultra-som na madeira, como ferramenta para avaliação de sua qualidade.

Puccini (2002), dentre outros, destacou que embora as ondas de ultra-som estejam sendo utilizadas desde a década de 70, na avaliação não-destrutiva de diferentes materiais, somente mais recentemente essa técnica passou a ser empregada sistematicamente em produtos à base de madeira. Esse relativo atraso deve-se às peculiaridades anatômicas desse material, as quais dificultam a compreensão de fenômenos de propagação das ondas quando comparadas com outros materiais homogêneos.

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

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

Sandoz (1993) enfatizou o uso do ultra-som como um elemento auxiliar ao emprego das normas que utilizam o conceito dos estados limites, já que nesse caso poder-se-ia utilizar essa ferramenta para separar, inicialmente, a madeira em classes de resistência.

No Brasil, vários grupos de pesquisa (UNICAMP, USP- São Carlos, UFSCar UFP – Paraná, UFSC – Santa Catarina e FCA-UNESP- Botucatu, entre outros) vem se dedicando ao conhecimento das características desse método de ensaios de madeiras.

Para a madeira, no geral, trabalha-se com ondas longitudinais nas três direções ortotrópicas —longitudinal, radial e tangencial (Figura 17), fazendo-se uso de dois transdutores, um para transmissão e outro para recepção da onda (Figura 16). São utilizados

normalmente transdutores normais com frequência variando de 40 kHz a 1MHz, no máximo, por conta da grande atenuação promovida pela madeira em ondas de alta frequência.

Nogueira (2003), em trabalho para determinação dos módulos de elasticidade do *Pinus taeda* L. com o uso de ultra-som, obteve os seguintes valores médios para as velocidades usuais, observadas nas três direções; $v_{\text{long.}} = 5.500 \text{ m/s}$, $v_{\text{radial}} = 2.200 \text{ m/s}$ e a $v_{\text{tang.}} = 1.750 \text{ m/s}$.

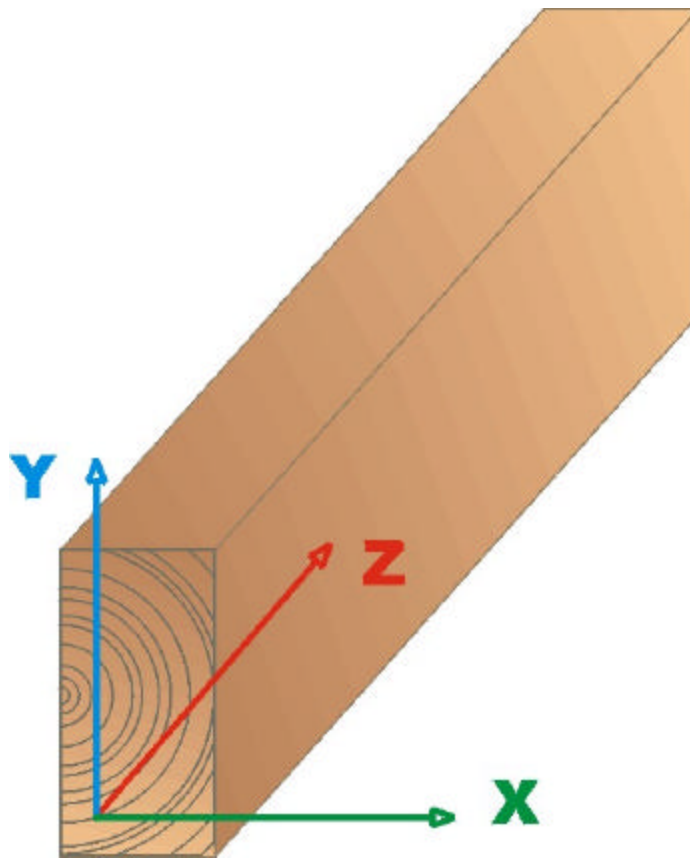


Figura 17 – Direções ortotrópicas da madeira (longitudinal, radial e tangencial).

Além da anatomia do lenho, diversos outros fatores interferem na velocidade de propagação das ondas de ultra-som, podendo-se citar como principais a presença de defeitos e o teor de umidade da madeira.

A velocidade de propagação da onda ultra-sônica decresce consideravelmente com o aumento do teor de umidade da madeira, até o ponto de saturação das

fibras. A partir deste valor, a velocidade tende a estabilizar-se e tornar-se praticamente constante (Figura 18).

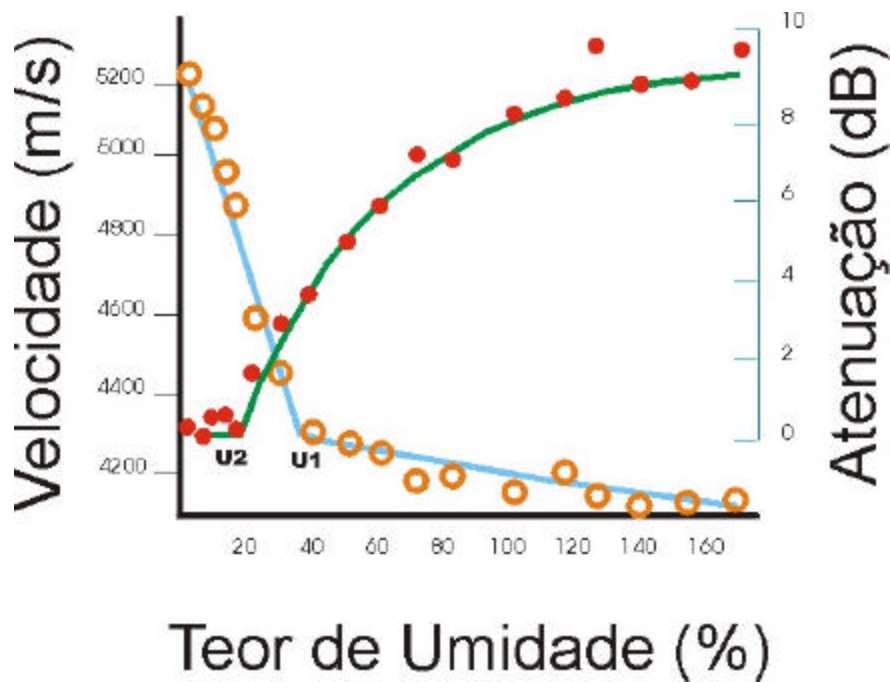


Figura 18 – Variação da velocidade longitudinal de ultra-som (curva U1) e da atenuação das ondas ultra-sonoras (curva U2) em função do teor de umidade em corpos-de-prova de metasequoia.

Fonte: Sakai et al., apud Bucur (1995) adaptado pelo autor.

Da revisão de literatura, pode-se concluir que a velocidade de propagação é consideravelmente influenciada pela existência de água de impregnação (encontrada na parede celular), enquanto que a atenuação é sensivelmente influenciada pela presença de água livre, disponível no lume celular, acima do ponto de saturação das fibras (PSF).

Outro fator preponderante na variação da velocidade longitudinal é a relação L/λ , onde L é o comprimento do corpo-de-prova ou peça estrutural e λ é comprimento de onda.

Bucur (1984) analisou a variação da velocidade de ondas longitudinais em função da relação L/λ em corpos-de-prova de *Hêtre* (*Fagus sylvatica*), obtendo os resultados apresentados na Figura 19.

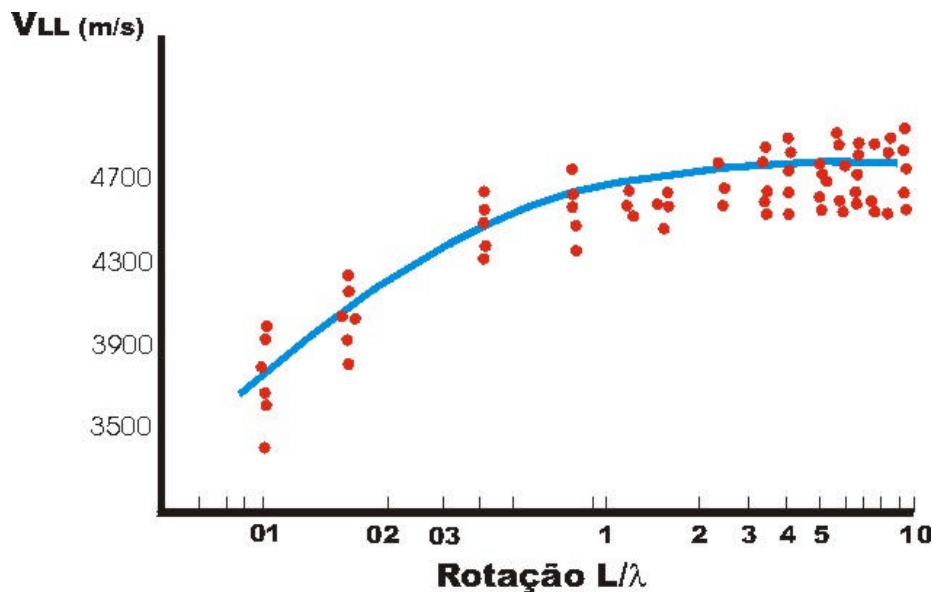


Figura 19 – Variação da velocidade de propagação de ondas longitudinais (m/s) em função da relação L/λ em corpos-de-prova de *hêtre*

Fonte: Bucur (1984), adaptado pelo autor.

Pela Figura 19, 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 velocidade da onda de cerca de 30%, enquanto que entre as relações $L/\lambda = 1$ e $L/\lambda = 10$, a variação na mesma velocidade resultou em 2,6%.

Outras influências na velocidade de propagação das ondas de ultra-som, de menor importância relativa, foram tratadas em Bucur (1984), Bartholomeu (2001) e Nogueira (2003).

De forma análoga ao procedido para as ondas de tensão, pode-se obter constantes elásticas do material (termos da matriz de rigidez do material) a partir das velocidades de transmissão das ondas de ultra-som nas diferentes direções.

A teoria que envolve a determinação das equações que correlacionam a velocidade de propagação da onda às constantes elásticas C_{ii} , expressa na equação de Christoffel, foi apresentada por Hearmon (1966), Musgrave (1970), Green (1973), Auld (1973), Dieulesaint & Royer (1974) e Alippi & Mayer (1987), entre outros.

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

$$C_{ii} = \rho V_{ii}^2, \text{ onde:} \quad (16)$$

V - velocidade da onda de ultra-som na direção ii.
 ρ - densidade do material
 C_{ii} - constante elástica (aqui referida como constante dinâmica, devido à forma de sua obtenção) na direção ii

As constantes dinâmicas C_{ii} diferem dos módulos de elasticidade do material nas respectivas direções.

Do equacionamento teórico e segundo apresentado por Ballarin (1999), para as três direções principais da madeira têm-se:

$$C_{LL} = E_L (1 - \nu_{TR}\nu_{RT}) / (1 - 2\nu_{RL}\nu_{TR}\nu_{LT} - \nu_{LT}\nu_{TL} - \nu_{LR}\nu_{RL} - \nu_{RT}\nu_{TR}) \quad (17)$$

$$C_{RR} = E_R (1 - \nu_{LT}\nu_{TL}) / (1 - 2\nu_{RL}\nu_{TR}\nu_{LT} - \nu_{LT}\nu_{TL} - \nu_{LR}\nu_{RL} - \nu_{RT}\nu_{TR}) \quad (18)$$

$$C_{TT} = E_T (1 - \nu_{LR}\nu_{RL}) / (1 - 2\nu_{RL}\nu_{TR}\nu_{LT} - \nu_{LT}\nu_{TL} - \nu_{LR}\nu_{RL} - \nu_{RT}\nu_{TR}) \quad (19)$$

Segundo Herzing (1992), a constante dinâmica C_{LL} traduz as características elásticas das fibras, pois se utiliza, da propagação de energia entre elas, enquanto que o módulo de elasticidade longitudinal (E_L) é mais função das propriedades elásticas tridimensionais do corpo-de-prova por inteiro (efeito de Poisson), razão pela qual E_L é quase sempre menor que C_{LL}.

Bodig & Jayne (1993), citados por Goulet & Laforest (1987), apresentaram coeficientes de Poisson médios para coníferas e dicotiledônias (Quadro 8).

Para se obter a relação da constante dinâmica segundo o eixo longitudinal com o módulo de elasticidade longitudinal, deve-se substituir os valores do Quadro 8 na equação 17, ficando:

$$\text{Para as dicotiledôneas: } C_{LL} \approx 1,06 E_L \quad (20)$$

$$\text{Para as coníferas: } C_{LL} \approx 1,05 E_L \quad (21)$$

Quadro 8 – Coeficientes de Poisson médios para coníferas e dicotiledônias (BODIG e Jayne (1982), apud Goulet & Laforest (1987)).

Coeficiente de Poisson	Coníferas	Dicotiledôneas
ν_{LR}	0,37	0,37
ν_{LT}	0,42	0,50
ν_{RT}	0,47	0,67
ν_{TR}	0,35	0,33
ν_{RL}	0,041	0,044
ν_{TL}	0,033	0,027

Bartholomeu (2001) avaliou a correlação entre valores da constante dinâmica com a resistência e módulo de elasticidade da madeira. Segundo o autor, os valores de C_{LL} são sempre mais elevados do que os valores do módulo de elasticidade longitudinal (E_L). Os resultados demonstraram que, para os corpos-de-prova da espécie *Pinus elliotti*, na condição seca ao ar, o C_{LL} foi 38% maior que o módulo de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}) e para as vigas os valores de C_{LL} foram 42% maiores do que o módulo de elasticidade à flexão (E_M).

Bartholomeu (2001) com a sua pesquisa concluiu que alguns fatores influenciaram nos resultados dos seus ensaios. A espécie *Pinus elliottii* foi a que apresentou melhores correlações entre as variáveis, tanto para corpos-de-prova, quanto para vigas; já as espécies *Goupia glabra* e *Eucalipto citriodora*, dicotiledôneas e de estrutura mais homogênea, em relação as camadas de crescimento do lenho inicial e tardio, apresentam menor perturbação na propagação da onda de ultra-som. Segundo o autor, esse fenômeno fez com que houvesse menor diferenciação nos valores obtidos para as velocidades e, portanto, dificultou a avaliação da suas

propriedades mecânicas quando se utiliza somente a velocidade do ultra-som como variável independente.

O autor concluiu que o método de ultra-som mostrou-se eficiente como classificador de vigas de dimensões estruturais, tanto na condição saturada como na condição seca ao ar.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

Para os ensaios laboratoriais foram amostrados 48 dormentes fornecidos, pela empresa ferroviária Ferrovias Brasil S.A., ex-Ferroban – Ferrovias Bandeirantes S.A.), com sede administrativa na cidade de Campinas – SP, empresa esta responsável pela exploração na malha ferroviária do estado de São Paulo.

Em razão da diversidade de espécies normalmente empregadas, para os ensaios físico-mecânicos foram selecionadas aquelas de maior utilização nessa empresa ferroviária, sendo as mesmas previamente divididas em dois agrupamentos – madeiras nativas e madeiras de reflorestamento, tomando-se inicialmente 24 dormentes para cada agrupamento.

No agrupamento das madeiras nativas os dormentes foram codificados como S1 a S12 (obtidos por amostragem acidental simples) e D1 a D12 (obtidos por amostragem condicionada à observação de defeitos). Os dormentes do agrupamento de madeira de reflorestamento foram codificados de E1 a E24 (dormentes do gênero *Eucalyptus*).

Dos 48 dormentes selecionados, que estão sendo compartilhados com outras pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Ensaios de Materiais - FCA, foram retiradas amostras para identificação botânica do lenho. As análises foram conduzidas paralelamente no Laboratório de Anatomia – Departamento de Recursos Naturais – FCA /UNESP – Campus de Botucatu, e no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A – IPT. O método utilizado pelo IPT, foi o Procedimento DPF-LAIM-PE-01 – “Identificação botânica de materiais”, com a identificação botânica obtida pelo processo macroscópico de exame de anatomia do lenho.

Com os resultados das análises de identificação botânica, foi elaborado o Quadro 9.

Quadro 9: Grupos finais de dormentes, obtidos a partir da identificação anatômica das amostras.

Grupo	Família	Espécie (s) Provável(eis)	Código dos Dormentes
1	<i>Vochysiaceae</i>	<i>Qualea sp</i>	S3 a S12
		Quaruba, canibará	D1,D2,D8,D9 e D12
2	<i>Lauraceae</i>	<i>Ocotea sp ou Nectandra sp.</i>	S1,S2
		Canela, louro	D3,D4,D6,D7,D10 e D11
3	<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucaliptus citriodora</i>	E1 a E24
4	<i>Mimosaceae</i>	<i>Enterolobium sp.</i>	D5
		Faveiro	

Fonte: Colenci (2002), adaptado pelo autor.

A presente pesquisa trabalhou com os grupos 1 a 3 do Quadro 9, que passaram a ser referenciados como *Vochysiaceae*, *Lauraceae* e *Eucalipto citriodora*, respectivamente. O grupo 4, por apresentar um único exemplar (dormente D5), não foi utilizado. No grupo 3 o dormente E9 foi comprometido no desdobro.

5.2 Métodos

5.2.1 Desdobro dos dormentes

A amostra inicial de cada um dos grupos estudados, aqui referenciada como meio-dormente, consistia de peças de madeira com a seção transversal usual para dormentes (cerca de 22 cm de largura por 16 cm de altura) e comprimento em torno de metade do comprimento original desses elementos (cerca de 1,00 m), conforme apresentado na Figura 20.

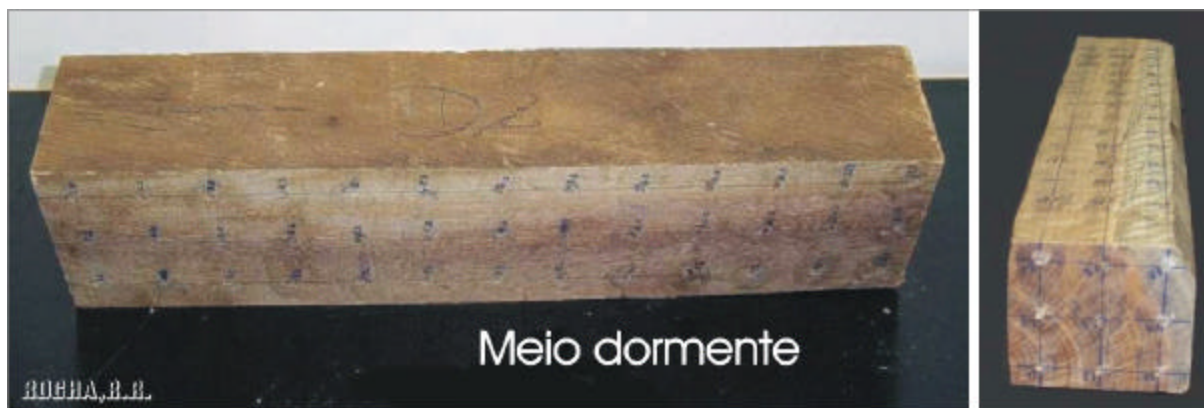


Figura 20: Características das amostras dos dormentes – aproximadamente metade de um dormente.

Toda a operação de desdobro dos meio dormentes em frações menores foi realizada na marcenaria da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP – Botucatu, e está esquematizada na Figura 21.

De cada um dos meio dormentes retirou-se uma amostra inicial, com comprimento entre 0,60 m a 0,80 m e seção transversal aproximada de 11 cm de largura (metade da largura original do meio dormente), por 16 cm de altura.

Essa amostra inicial foi aparelhada em todas as faces e recebeu a denominação “segmento” do dormente.

No segmento do dormente foram realizados diversos ensaios não-destrutivos e, posteriormente, fez-se novo desdobro, sendo retiradas duas peças com 25 cm de comprimento de cada segmento. Essas novas frações denominaram-se “parcelas” 1 e 2 do segmento e também foram submetidas a ensaios não-destrutivos.

Por fim, a partir das parcelas foram produzidos os corpos-de-prova longitudinais CP1 e CP2 (5 cm x 5 cm x 19,6 cm) e transversais CP3 (5 cm x 5 cm x 10 cm) para os ensaios não-destrutivos e destrutivos convencionais.

A Figura 22 apresenta fases das operações de desdobro e o Quadro 10 resume as dimensões finais das peças utilizadas nos experimentos.

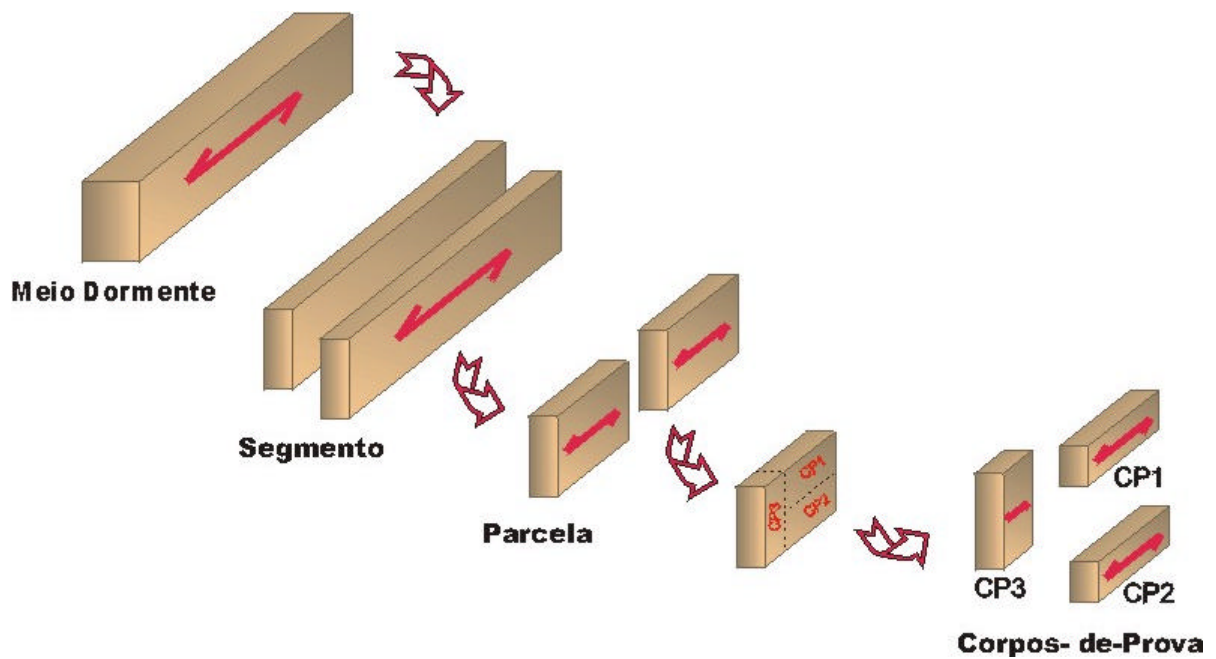


Figura 21 – Esquema de desdobro do meio dormente em frações para os ensaios.



Figura 22 – Operações executadas no desdobro do dormente na serraria da Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus da FCA -UNESP – Botucatu.

Quadro 10 – Dimensões das peças utilizadas no programa experimental.

Dimensões (cm)			
	altura	largura	comprimento
Segmento	10,00 à 15,00	7,50 à 9,00	63,50 à 80,00
Parcela	9,75 à 15,45	4,86 à 4,97	25,00
Corpos-de-Prova:			
Longitudinais CP1	5,00	5,00	19,60
Transversais - CP3	5,00	5,00	10,00

5.2.2 Ensaios não-destrutivos

5.2.2.1 Ensaio com ondas de tensão

Os ensaios com ondas de tensão (Figura 23) foram realizados somente nos segmentos de dormente, devido sobretudo à necessidade de fixação do receptor com o auxílio de um parafuso (Figura 23c), fato que poderia comprometer a integridade das peças menores para as etapas seguintes.

O equipamento utilizado foi o “Metriguard Model 239A”- Stress wave timer.

O ensaio consistia, basicamente, na aplicação de um impacto em uma das extremidades do segmento do dormente, com o uso de um martelo instrumentado (com disparador da contagem de tempo- Figuras 23a e 23d), induzindo, assim, a propagação de uma onda de tensão ao longo do comprimento da peça. A chegada da onda na extremidade oposta era captada por um transdutor (Figura 23b), fixada a peça por parafuso. A partir do tempo de propagação da onda, contabilizava-se a sua velocidade de propagação (v_{ot}) e, com uso da equação 14, inferia-se o módulo de elasticidade dinâmico ($E_{d,ot}$).

Os ensaios com ondas de tensão nos segmentos de dormentes foram realizados em dois pontos distintos da seção transversal (Figura 23c), aqui referenciado como L1 e L2 (longitudinal 1 e 2).

Em cada um dos pontos foram realizadas 5 medições do tempo de propagação da onda (5 repetições), utilizando-se, por fim, o tempo médio assim obtido ($t_{m,ot}$) para os cálculos.



Figura 23 – Ensaio com ondas de tensão: a) vista geral do aparato do ensaio; b) detalhe do transdutor de recepção e do contador de tempo; c) detalhes dos dois pontos de medição no segmento e d) detalhe do martelo.

5.2.2.2 Ensaio com ultra-som

Os ensaios com ultra-som foram realizados utilizando-se um equipamento Steinkamp BP-5, de fabricação alemã, com transdutores piezoelétricos de face plana de 45 kHz de frequência. Os transdutores que se acoplam ao equipamento funcionam tanto como emissor quanto como receptor da onda de ultra-som (Figura 24).

A calibração do equipamento foi realizada no início de cada série de ensaios utilizando-se o corpo-de-prova “plexi-glass”, conforme especificações do manual do equipamento (Figura 24).



Figura 24-Utilização do calibrador de acrílico (“plexi-glass”) para a calibração do aparelho de ultra-som.

Como material de interface utilizou-se uma fina camada de gel medicinal nas faces dos transdutores, minimizando-se os problemas mencionados na literatura, quanto à falta de contato.

Analogamente ao procedido para os ensaios com ondas de tensão, foi aqui contabilizado o tempo de propagação da onda de ultra-som (t_{us}) e, a partir dele, calculada a velocidade de propagação (v_{us}) e a constante dinâmica (C_{LL} , quando avaliada na direção longitudinal e C_{transv} , quando avaliada na direção transversal).

Os ensaios com ultra-som foram realizados em dois pontos na direção longitudinal dos segmentos (Figura 25a), nas direções transversal (Figura 25b esquerda) e longitudinal (Figura 25b direita) das parcelas dos segmentos e nos corpos-de-prova CP1 (na direção paralela às fibras) e CP3 (direção transversal às fibras).

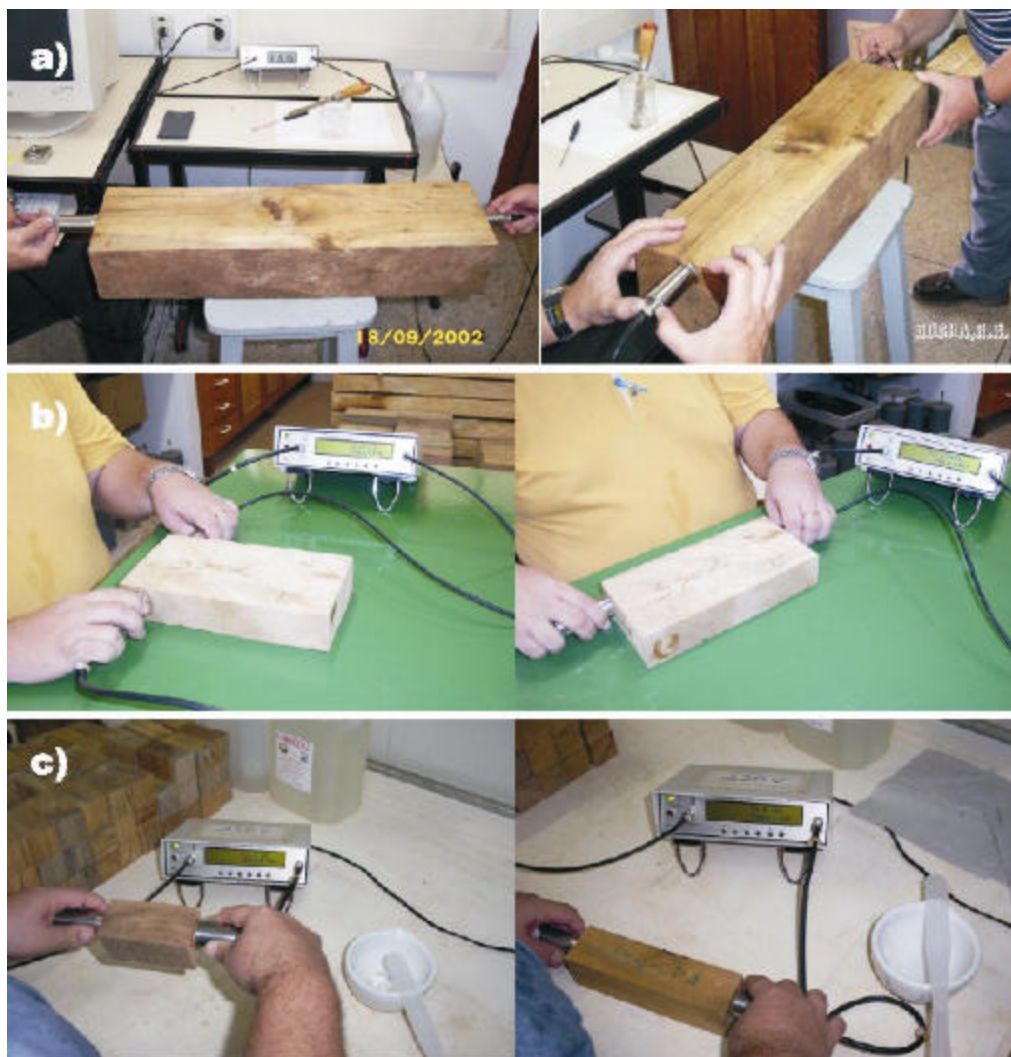


Figura 25 – Aplicação do ensaio de ultra-som no(s): a) Segmento; b) Parcela, e c) Corpo-de prova.

5.2.3 Ensaios destrutivos em corpos-de-prova

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da FCA – UNESP, Botucatu. Nos ensaios de dureza Janka e de compressão normal às fibras foi utilizada a máquina universal de ensaios DL 10.000, EMIC, conforme observado nas Figuras 26 e 27. Os ensaios de compressão paralela às fibras foram realizados em prensa EMIC com capacidade de 100 tf, dotada de sistemas automatizados de aquisição de dados (tensões e deformações específicas).

Os corpos-de-prova longitudinais CP1 (inicialmente com dimensões 5,00 cm x 5,00 cm x 19,60 cm) foram submetidos inicialmente aos ensaios de dureza normal e paralela às fibras, conforme ilustrado na Figura 26, seguindo-se metodologia definida por Colenci (2002). Os corpos-de-prova, após serem desdobrados, eliminando-se os 4,6 cm do comprimento, região essa na qual havia se efetuado o ensaio de dureza (dimensões finais 5 cm x 5 cm x 15 cm), foram ensaiados à compressão paralela às fibras, segundo NBR 7190 (1997), determinando-se, para eles, a resistência (f_{c0}) e o módulo de elasticidade (E_{c0}), Figura 28.

Nos corpos-de-prova transversais (5 cm x 5 cm x 10 cm), foram realizados os ensaios de compressão normal às fibras (Figura 27).

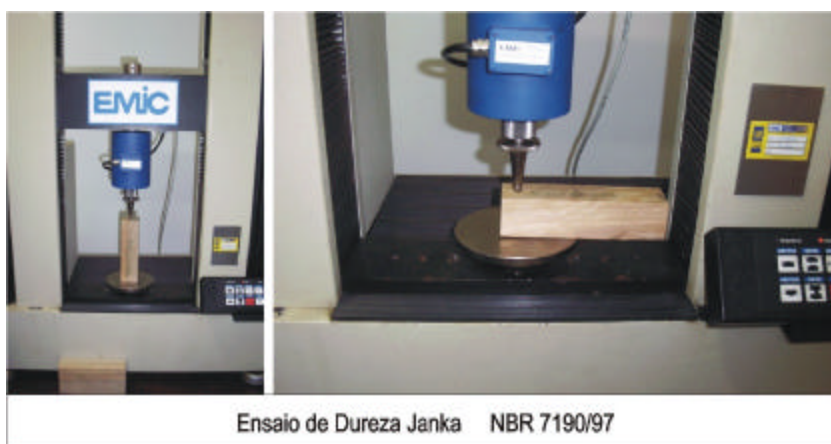


Figura 26- Ensaios de dureza Janka, paralela às fibras (esquerda) e normal às fibras (direita).

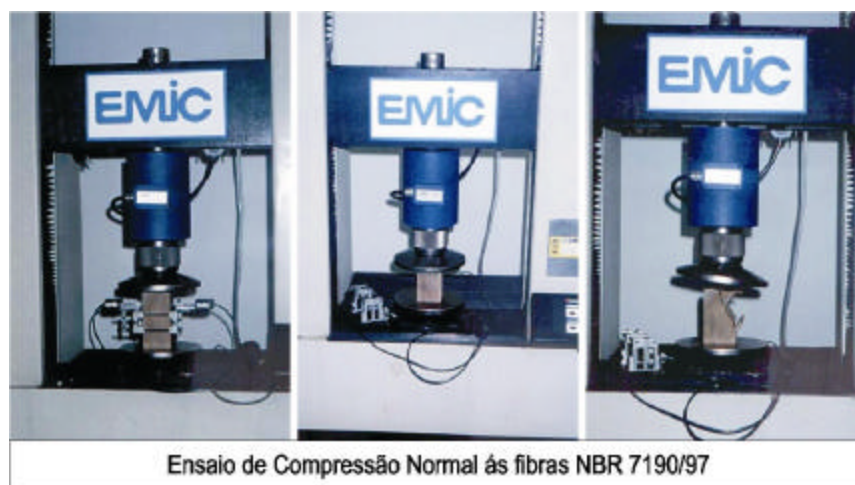


Figura 27- Ensaio de compressão normal às fibras.

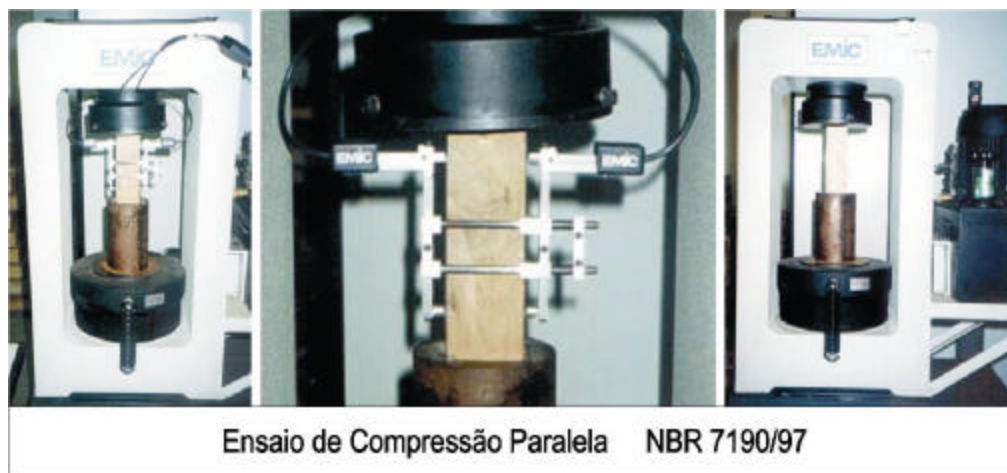


Figura 28 – Ensaio de compressão paralela às fibras.

Todos os corpos-de-prova, após serem ensaiados destrutivamente, foram pesados em balança GEHAKA com sensibilidade de 0,01g e capacidade de 1000 g, e secados em estufa FANEM, para a determinação do seu teor de umidade, (Figura 29).



Figura 29 – Pesagem e secagem dos corpos-de-prova.

5.2.4 Tratamento estatístico

Toda a análise estatística dos resultados obtidos foi conduzida sob orientação do Departamento de Bioestatística – IBB – UNESP, sob a supervisão de Wilson Roberto de Jesus.

Na análise da sensibilidade dos métodos não-destrutivos das ondas de tensão e do ultra-som os resultados obtidos para os segmentos, parcelas e corpos-de-prova, em termos de velocidade de propagação da onda e módulo de elasticidade dinâmico (ondas de tensão) ou constante dinâmica (ultra-som) foram comparados estatisticamente para avaliar as influências do ponto de medição (na seção transversal e ao longo do comprimento dos segmentos) e das condições do material, em termos de defeitos apontados no anexo, umidade etc. Utilizou-se a análise de variância em experimentos inteiramente casualizados e o software SAS, licenciado pelo STI – Serviço Técnico de Informática da FCA- UNESP.

Foi aplicado um ajuste de regressão entre as principais grandezas obtidas nos ensaios não-destrutivos e suas correspondentes obtidas em ensaios destrutivos convencionais. No estudo das regressões, a verificação da adequabilidade dos modelos foi conduzida com a análise dos resíduos, para verificação prévia das suposições de normalidade (software Minitab V. 13.31 – Teste estatístico de Shapiro).

Em todas as análises conduzidas constatou-se a normalidade, não sendo portanto necessário efetuar nenhuma transformação dos dados originais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados completos de todos os ensaios realizados estão apresentados em quadros no apêndice deste trabalho. Ao longo do texto deste capítulo são apresentados somente quadros resumidos, enfocando valores particulares das grandezas, reportados à madeira na umidade de equilíbrio ao ar, que foi variável de 12% a 15%.

6.1 Ensaios não-destrutivos

6.1.1 Segmento do dormente

Conforme já comentado, nos segmentos dos dormentes foram realizados dois tipos de ensaios não-destrutivos, baseados no método das ondas de tensão e no método do ultra-som. Foram realizadas leituras das velocidades de propagação das ondas na direção do comprimento dos segmentos, em dois pontos distintos da seção transversal, denominados L1 e L2 (transmissão longitudinal 1 e transmissão longitudinal 2).

O Quadro 11 apresenta um resumo dos resultados obtidos com essas frações dos dormentes. Estão reportados em termos da velocidade de propagação das ondas de tensão (v_{ot}), módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo método das ondas de tensão $E_{d,ot}$ — com

uso da equação 14 — velocidade de propagação das ondas de ultra-som (v_{us}) e constante dinâmica C_{LL} — obtida com uso da equação 16, particularizada para a direção longitudinal.

Quadro 11 – **Segmento do dormente** - Resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos.

Dados gerais obtidos dos segmentos dos dormentes							
Amostra (Meio dormente)	Identificação	Código	Ondas-de-tensão			Ultra-som	
			ρ (g/cm ³)	v_{ot} (m/s)	$E_{d,ot}$ (MPa)	v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)
1	Lauraceae	S1-L1	0,675	4238	12126	5129	17764
2	Lauraceae	S1-L2	0,675	4266	12287	5222	18413
3	Lauraceae	S2-L1	0,727	4202	12845	5015	18292
4	Lauraceae	S2-L2	0,727	4136	12445	4902	17477
5	Lauraceae	D3-L1	0,684	4261	12430	4872	16246
6	Lauraceae	D3-L2	0,684	4400	13253	4970	16908
7	Lauraceae	D4-L1	0,719	4441	14188	5589	22467
8	Lauraceae	D4-L2	0,719	4962	17711	5471	21531
9	Lauraceae	D6-L1	0,767	4100	12886	4895	18371
10	Lauraceae	D6-L2	0,767	4225	13684	4943	18733
11	Lauraceae	D7-L1	0,692	4315	12884	4971	17105
12	Lauraceae	D7-L2	0,692	4118	11736	5025	17478
13	Lauraceae	D10-L1	0,692	4440	13641	4938	16874
14	Lauraceae	D10-L2	0,692	4504	14036	5247	19049
15	Lauraceae	D11-L1	0,719	4249	12989	5007	18036
16	Lauraceae	D11-L2	0,719	4358	13658	5071	18500
17	Vochysiaceae	S3-L1	0,678	2886	5652	3649	9035
18	Vochysiaceae	S3-L2	0,678	2690	4909	3394	7816
19	Vochysiaceae	S4-L1	0,775	4492	15647	5648	24734
20	Vochysiaceae	S4-L2	0,775	4345	14639	5488	23356
21	Vochysiaceae	S5-L1	0,758	3924	11672	4969	18720
22	Vochysiaceae	S5-L2	0,758	4094	12707	5054	19366
23	Vochysiaceae	S6-L1	0,871	4251	15736	5367	25089
24	Vochysiaceae	S6-L2	0,871	4355	16517	5354	24968
25	Vochysiaceae	S7-L1	0,751	4156	12968	5242	20627
26	Vochysiaceae	S7-L2	0,751	4226	13410	5338	21391
27	Vochysiaceae	S8-L1	0,758	3142	7488	4261	13771
28	Vochysiaceae	S8-L2	0,758	2940	6555	4154	13085
29	Vochysiaceae	S9-L1	0,799	4431	15682	5340	22780
30	Vochysiaceae	S9-L2	0,799	4152	13767	5286	22318
31	Vochysiaceae	S10-L1	0,631	2961	5536	3713	8705
32	Vochysiaceae	S10-L2	0,631	2958	5526	3703	8656
33	Vochysiaceae	S11-L1	0,766	4236	13748	5091	19855
34	Vochysiaceae	S11-L2	0,766	4319	14288	5204	20750
35	Vochysiaceae	S12-L1	0,735	4005	11793	5047	18727
36	Vochysiaceae	S12-L2	0,735	4183	12863	5171	19662
37	Vochysiaceae	D1-L1	0,785	4417	15318	5329	22294
38	Vochysiaceae	D1-L2	0,785	4152	13530	5284	21915
39	Vochysiaceae	D2-L1	0,733	4167	12734	5213	19929
40	Vochysiaceae	D2-L2	0,733	4188	12864	5192	19770
41	Vochysiaceae	D8-L1	0,733	4421	14333	5201	19834
42	Vochysiaceae	D8-L2	0,733	4477	14696	5121	19229
43	Vochysiaceae	D9-L1	0,903	4329	16928	5191	24342
44	Vochysiaceae	D9-L2	0,903	4212	16031	5259	24987
45	Vochysiaceae	D12-L1	0,677	4506	13755	5346	19358
46	Vochysiaceae	D12-L2	0,677	4549	14015	5278	18870

Continua.

Dados gerais obtidos dos segmentos dos dormentes							
Amostra (Meio dormente)	Identificação	Código	Ondas-de-tensão			Ultra-som	
			ρ (g/cm ³)	v_{ot} (m/s)	$E_{d,ot}$ (MPa)	v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)
47	<i>E. citriodora</i>	E1-L1	1,076	4075	17869	4712	23890
48	<i>E. citriodora</i>	E1-L2	1,076	3734	15004	4661	23380
49	<i>E. citriodora</i>	E2-L1	0,913	3820	13319	4771	20772
50	<i>E. citriodora</i>	E2-L2	0,913	3915	13987	4866	21610
51	<i>E. citriodora</i>	E3-L1	1,042	4353	19738	5153	27668
52	<i>E. citriodora</i>	E3-L2	1,042	4540	21477	5407	30463
53	<i>E. citriodora</i>	E4-L1	0,975	4361	18543	5279	27174
54	<i>E. citriodora</i>	E4-L2	0,975	4145	16749	5326	27661
55	<i>E. citriodora</i>	E5-L1	1,040	3958	16291	4900	24969
56	<i>E. citriodora</i>	E5-L2	1,040	4022	16823	4804	23998
57	<i>E. citriodora</i>	E6-L1	0,867	4804	20004	5517	26381
58	<i>E. citriodora</i>	E6-L2	0,867	4470	17318	5326	24586
59	<i>E. citriodora</i>	E7-L1	1,026	4561	21340	5475	30747
60	<i>E. citriodora</i>	E7-L2	1,026	4582	21536	5501	31047
61	<i>E. citriodora</i>	E8-L1	1,016	4162	17599	4754	22962
62	<i>E. citriodora</i>	E8-L2	1,016	4253	18383	4921	24607
63	<i>E. citriodora</i>	E01-L1	0,992	4640	21364	5779	33136
64	<i>E. citriodora</i>	E10-L2	0,992	4695	21869	5536	30408
65	<i>E. citriodora</i>	E11-L1	1,072	3838	15791	4567	22358
66	<i>E. citriodora</i>	E11-L2	1,072	3834	15757	4551	22211
67	<i>E. citriodora</i>	E12-L1	1,014	4867	24009	5670	32590
68	<i>E. citriodora</i>	E12-L2	1,014	4769	23051	5509	30764
69	<i>E. citriodora</i>	E13-L1	1,017	3844	15020	4734	22780
70	<i>E. citriodora</i>	E13-L2	1,017	3981	16106	4794	23357
71	<i>E. citriodora</i>	E14-L1	1,129	4364	21498	4957	27735
72	<i>E. citriodora</i>	E14-L2	1,129	4242	20316	4883	26917
73	<i>E. citriodora</i>	E15-L1	1,141	4122	19384	4906	27459
74	<i>E. citriodora</i>	E15-L2	1,141	4271	20811	4985	28359
75	<i>E. citriodora</i>	E16-L1	1,035	4293	19083	5571	32134
76	<i>E. citriodora</i>	E16-L2	1,035	4551	21438	5152	27477
77	<i>E. citriodora</i>	E17-L1	1,009	4754	22808	5722	33054
78	<i>E. citriodora</i>	E17-L2	1,009	4634	21674	5450	29977
79	<i>E. citriodora</i>	E18-L1	1,061	4680	23240	5587	33115
80	<i>E. citriodora</i>	E18-L2	1,030	4945	25178	5575	32006
81	<i>E. citriodora</i>	E19-L1	1,028	3839	15148	4598	21729
82	<i>E. citriodora</i>	E19-L2	1,028	3865	15351	4689	22603
83	<i>E. citriodora</i>	E20-L1	0,996	4279	18241	4798	22941
84	<i>E. citriodora</i>	E20-L2	0,996	4222	17760	5000	24909
85	<i>E. citriodora</i>	E21-L1	0,861	4476	17241	5169	22995
86	<i>E. citriodora</i>	E21-L2	0,861	4751	19424	5473	25778
87	<i>E. citriodora</i>	E22-L1	1,131	4047	18526	4627	24218
88	<i>E. citriodora</i>	E22-L2	1,131	3754	15940	4177	19732
89	<i>E. citriodora</i>	E23-L1	0,930	4766	21115	5808	31357
90	<i>E. citriodora</i>	E23-L2	0,930	4662	20207	5443	27538
91	<i>E. citriodora</i>	E24-L1	1,053	4480	21141	5319	29802
92	<i>E. citriodora</i>	E24-L2	1,053	4613	22412	5344	30081

O Quadro 12 apresenta as médias de cada uma das variáveis reportadas no Quadro 11, para as direções L1 e L2.

Quadro 12 – **Segmento do dormente** - Análise de variância e comparação de médias.

Segmento do Dormente (Análise de Variância e Comparação de Médias)				
Função	v_{us}	C_{LL}	v_{ot}	$E_{d,ot}$
Grupo Lauraceae				
L1	5052 a	18144 a	4281 a	12999 a
L2	5106 a	18511 a	4371 a	13601 a
C.V. (%)	4,19	9,15	4,84	10,39
Grupo Vochysiaceae				
L1	4974 a	19187 a	4022 a	12599 a
L2	4952 a	19076 a	3989 a	12421 a
C.V. (%)	12,61	27,01	14,46	29,26
Grupo Eucalypto citriodora				
L1	5146 a	27042 a	4321 a	19057 a
L2	5103 a	26499 a	4324 a	19068 a
*C.V. (%)	7,89	14,46	8,16	15,36

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas num nível de significância de 5%.

*C.V.= Coeficiente de variação.

Verifica-se, inicialmente, que os coeficientes de variação das variáveis avaliadas resultaram baixos, no geral. O grupo das *Vochysiaceae* apresentou os maiores coeficientes de variação. Destacando-se o coeficiente de variação C.V.= 29,26% alcançados para o módulo de elasticidade dinâmico $E_{d,ot}$. Da análise do Quadro 11 evidencia-se que as amostras 12 e 22 apresentam densidades elevadas em relação às demais amostras do grupo o que resultou em elevados valores individuais de C_{LL} e E_{ot} . As velocidades das ondas de tensão resultaram cerca de 15% a 20% inferiores àquelas observadas com o ultra-som. Ainda, pode-se notar que as constantes dinâmicas C_{LL} resultaram sempre superiores ao módulo de elasticidade dinâmico, conforme poderia ser esperado. De fato, as equações 20 e 21 já indicavam que, teoricamente, a constante dinâmica C_{LL} é cerca de 5% superior ao correspondente módulo de elasticidade estático E_L .

A análise de variância apresentada no Quadro 12 indica que, para todas as variáveis medidas, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os valores obtidos nos pontos de medição L1 e L2 do segmento. A partir desse resultado, foi possível desconsiderar a influência do ponto de aplicação da onda na seção transversal do segmento. Foram, assim, desconsideradas as leituras obtidas no ponto de medição L2 do segmento. Além disso, quando da

produção de corpos-de-prova longitudinais (3ª etapa de desdobro), os mesmos foram retirados ao longo da direção L1 do segmento — corpos-de-prova CP1 (Figura 21). Os corpos-de-prova CP 2, que foram retirados da linha L2, os mesmos não foram utilizados, por apresentarem resultados muito próximos, aos dos obtidos na linha L1.

6.1.2 Parcela do segmento

Conforme já comentado, de cada segmento de dormente originaram-se duas parcelas. Para as parcelas do segmento foram realizados somente ensaios com o método do ultra-som (os ensaios com o método das ondas de tensão foram exclusivos dos segmentos dos dormentes).

O Quadro 13 apresenta um resumo dos valores obtidos para as velocidades de ultra-som e para as constantes dinâmicas (C_{LL} e C_{transv}) nas medições longitudinais e transversais nas parcelas dos segmentos dos dormentes. Os códigos das parcelas foram obtidos a partir do código dos segmentos, adicionando-se os números 1 e 2, respectivamente para as parcelas 1 e 2. Assim, por exemplo, S1-1 e S1-2, correspondem respectivamente, às parcelas 1 e 2 obtidas do segmento S1. As letras L1 e T1, acrescidas ao código de identificação, indicam as direções de transmissão da onda, longitudinal e transversal, respectivamente.

As medições na direção transversal (normal às fibras) não puderam ser particularizadas em termos das direções radiais ou tangenciais, considerando-se que os dormentes não estavam serrados com as faces coincidentes com essas direções principais. Por conta disso, a constante dinâmica foi referida como C_{transv} , constante dinâmica avaliada em transmissões normais às fibras da madeira.

Os Quadros 14 e 15 apresentam as análises de variância para essas medições, comparando-se as médias dos valores obtidos nas parcelas 1 (L1-1) e 2 (L1-2), obtidas a partir dos segmentos, para as direções de transmissão longitudinal e transversal, respectivamente.

Do Quadro 14 depreende-se que, nesta nova situação, analogamente ao observado para os segmentos, as maiores velocidades de propagação longitudinal das ondas de

ultra-som foram observadas no grupo do Eucalipto citriodora. A transmissão de ondas na direção longitudinal não revelou diferenças significativas entre as parcelas 1 e 2, tanto para velocidades como para constantes dinâmicas C_{LL} .

A velocidade das ondas na direção transversal variou aproximadamente de 1600 m/s a 1900 m/s.

Nogueira (2003), trabalhando com *P. taeda* L., obteve velocidades na direção radial de 2250m/s e na direção tangencial de 1750 m/s. Embora uma comparação direta de resultados daquele pesquisador, com os aqui encontrados esteja comprometida, por conta das distintas espécies de madeira empregadas nos dois estudos, nota-se que existe proximidade de valores. As relações obtidas entre as velocidades da onda nas direções transversal e longitudinal situaram-se entre 0,31 e 0,37, dentro dos limites observados por Bucur (1995) e Nogueira (2003).

Quadro 13 – Parcela do segmento - Resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos.

Dados gerais obtidos das parcelas dos segmentos									
Amostra (Meio dormente)	Identificação	Direção longitudinal				Direção transversal			
		Código	ρ (g/cm ³)	Ultra-som		Codigo	ρ (g/cm ³)	Ultra-som	
				V_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)			V_{us} (m/s)	C_{transv} (MPa)
1	Lauraceae	S1-1-L1	0,684	5020	17244	S1-1-T1	0,684	1100	828
2	Lauraceae	S1-2-L1	0,695	5061	17792	S1-2-T1	0,695	1572	1716
3	Lauraceae	S2-1-L1	0,765	5051	19520	S2-1-T1	0,765	1568	1881
4	Lauraceae	S2-2-L1	0,777	4902	18683	S2-2-T1	0,777	1660	2142
5	Lauraceae	D3-1-L1	0,734	5020	18496	D3-1-T1	0,734	1842	2489
6	Lauraceae	D3-2-L1	0,706	5219	19229	D3-2-T1	0,706	1004	711
7	Lauraceae	D4-1-L1	0,711	5580	22154	D4-1-T1	0,711	1588	1794
8	Lauraceae	D4-2-L1	0,736	5459	21937	D4-2-T1	0,736	1818	2434
9	Lauraceae	D6-1-L1	0,805	4699	17779	D6-1-T1	0,805	1651	2195
10	Lauraceae	D6-2-L1	0,764	4826	17790	D6-2-T1	0,764	1593	1937
11	Lauraceae	D7-1-L1	0,764	4883	18211	D7-1-T1	0,764	1865	2657
12	Lauraceae	D7-2-L1	0,774	4941	18905	D7-2-T1	0,774	1760	2399
13	Lauraceae	D10-1-L1	0,729	4912	17594	D10-1-T1	0,729	1965	2815
14	Lauraceae	D10-2-L1	0,763	4808	17632	D10-2-T1	0,763	1857	2632
15	Lauraceae	D11-1-L1	0,800	4990	19912	D11-1-T1	0,800	1561	1948
16	Lauraceae	D11-2-L1	0,791	4950	19379	D11-2-T1	0,791	1329	1397
17	Vochysiaceae	S3-1-L1	0,738	4340	13903	S3-1-T1	0,738	2256	3755
18	Vochysiaceae	S3-2-L1	0,719	4174	12525	S3-2-T1	0,719	2306	3824
19	Vochysiaceae	S4-1-L1	0,804	5593	25148	S4-1-T1	0,804	1862	2788
20	Vochysiaceae	S4-2-L1	0,816	5708	26584	S4-2-T1	0,816	1971	3169
21	Vochysiaceae	S5-1-L1	0,831	5030	21018	S5-1-T1	0,831	1976	3242
22	Vochysiaceae	S5-2-L1	0,629	4845	14771	S5-2-T1	0,629	2610	4286
23	Vochysiaceae	S6-1-L1	0,863	5447	25588	S6-1-T1	0,863	1639	2317
24	Vochysiaceae	S6-2-L1	0,852	5435	25169	S6-2-T1	0,852	1750	2608
25	Vochysiaceae	S7-1-L1	0,801	5297	22462	S7-1-T1	0,801	1951	3048
26	Vochysiaceae	S7-2-L1	0,777	5365	22367	S7-2-T1	0,777	1593	1973
27	Vochysiaceae	S8-1-L1	0,776	4854	18298	S8-1-T1	0,776	2111	3459
28	Vochysiaceae	S8-2-L1	0,800	4836	18710	S8-2-T1	0,800	2007	3223
29	Vochysiaceae	S9-1-L1	0,787	5459	23435	S9-1-T1	0,787	2042	3279
30	Vochysiaceae	S9-2-L1	0,795	5747	26266	S9-2-T1	0,795	2091	3477
31	Vochysiaceae	S10-1-L1	0,701	4417	13684	S10-1-T1	0,701	2329	3806
32	Vochysiaceae	S10-2-L1	0,710	4480	14247	S10-2-T1	0,710	2357	3943
33	Vochysiaceae	S11-1-L1	0,820	5155	21779	S11-1-T1	0,820	2247	4137
34	Vochysiaceae	S11-2-L1	0,798	5133	21016	S11-2-T1	0,798	2035	3302
35	Vochysiaceae	S12-1-L1	0,724	5071	18617	S12-1-T1	0,724	1738	2188
36	Vochysiaceae	S12-2-L1	0,765	5102	19902	S12-2-T1	0,765	1550	1836
37	Vochysiaceae	D1-1-L1	0,810	5435	23928	D1-1-T1	0,810	1303	1375
38	Vochysiaceae	D1-2-L1	0,797	5376	23047	D1-2-T1	0,797	1766	2486
39	Vochysiaceae	D2-1-L1	0,772	5241	21206	D2-1-T1	0,772	1805	2514
40	Vochysiaceae	D2-2-L1	0,770	5252	21234	D2-2-T1	0,770	1729	2302
41	Vochysiaceae	D8-1-L1	0,786	5208	21323	D8-1-T1	0,786	1641	2118
42	Vochysiaceae	D8-2-L1	0,795	5330	22582	D8-2-T1	0,795	1748	2429
43	Vochysiaceae	D9-1-L1	0,920	5297	25802	D9-1-T1	0,920	2141	4214
44	Vochysiaceae	D9-2-L1	0,913	5423	26855	D9-2-T1	0,913	1740	2764

Continua.

Dados gerais obtidos dos segmentos dos dormentes. (Cont.)									
Amostra (Meio dormente)	Identificação	Direção longitudinal				Direção transversal			
		Código	ρ (g/cm ³)	Ultra-som		Codigo	ρ (g/cm ³)	Ultra-som	
				V _{US} (m/s)	C _{LL} (MPa)			V _{US} (m/s)	C _{LL} (MPa)
45	<i>Vochysiaceae</i>	D12-1-L1	0,773	5423	22726	D12-1-T1	0,773	1734	2322
46	<i>Vochysiaceae</i>	D12-2-L1	0,790	5400	23039	D12-2-T1	0,790	1730	2365
47	<i>E. citriodora</i>	E1-1-L1	1,02	5400	29772	E1-1-T1	1,021	1866	3557
48	<i>E. citriodora</i>	E1-2-L1	1,06	5400	30793	E1-2-T1	1,056	1836	3560
49	<i>E. citriodora</i>	E2-1-L1	0,97	5112	25242	E2-1-T1	0,966	1974	3765
50	<i>E. citriodora</i>	E2-2-L1	0,99	4808	22894	E2-2-T1	0,990	2070	4245
51	<i>E. citriodora</i>	E3-1-L1	1,02	5165	27208	E3-1-T1	1,020	1930	3798
52	<i>E. citriodora</i>	E3-2-L1	1,03	5219	28038	E3-2-T1	1,029	1871	3601
53	<i>E. citriodora</i>	E4-1-L1	1,07	5330	30500	E4-1-T1	1,073	2084	4662
54	<i>E. citriodora</i>	E4-2-L1	1,08	5252	29706	E4-2-T1	1,077	2216	5287
55	<i>E. citriodora</i>	E5-1-L1	0,91	5631	28746	E5-1-T1	0,907	2053	3822
56	<i>E. citriodora</i>	E5-2-L1	0,98	5656	31250	E5-2-T1	0,977	1926	3622
57	<i>E. citriodora</i>	E6-1-L1	0,91	5682	29361	E6-1-T1	0,909	2018	3702
5	<i>E. citriodora</i>	E6-2-L1	0,90	5605	28355	E6-2-T1	0,902	1913	3304
59	<i>E. citriodora</i>	E7-1-L1	1,02	5543	31387	E7-1-T1	1,021	2085	4442
60	<i>E. citriodora</i>	E7-2-L1	1,07	5470	32163	E7-2-T1	1,075	1998	4292
61	<i>E. citriodora</i>	E8-1-L1	1,04	4902	25014	E8-1-T1	1,041	1632	2774
62	<i>E. citriodora</i>	E8-2-L1	1,04	4630	22208	E8-2-T1	1,036	1988	4093
63	<i>E. citriodora</i>	E10-1-L1	1,10	5882	38191	E10-1-T1	1,104	1977	4314
64	<i>E. citriodora</i>	E10-2-L1	1,09	5774	36416	E10-2-T1	1,092	1929	4063
65	<i>E. citriodora</i>	E11-1-L1	0,97	5319	27488	E11-1-T1	0,972	1784	3092
66	<i>E. citriodora</i>	E11-2-L1	1,01	5308	28397	E11-2-T1	1,008	1873	3535
67	<i>E. citriodora</i>	E12-1-L1	1,07	5643	34137	E12-1-T1	1,072	1760	3319
68	<i>E. citriodora</i>	E12-2-L1	1,07	5618	33614	E12-2-T1	1,065	2063	4534
69	<i>E. citriodora</i>	E13-1-L1	0,94	5787	31338	E13-1-T1	0,936	1735	2818
70	<i>E. citriodora</i>	E13-2-L1	0,94	5734	30887	E13-2-T1	0,939	1650	2558
71	<i>E. citriodora</i>	E14-1-L1	0,97	5695	31471	E14-1-T1	0,970	1980	3806
72	<i>E. citriodora</i>	E14-2-L1	0,98	5643	31159	E14-2-T1	0,978	1933	3657
73	<i>E. citriodora</i>	E15-1-L1	1,00	5787	33537	E15-1-T1	1,001	840	707
74	<i>E. citriodora</i>	E15-2-L1	1,02	5519	31210	E15-2-T1	1,025	1859	3541
75	<i>E. citriodora</i>	E16-1-L1	1,00	5631	31687	E16-1-T1	0,999	2052	4209
76	<i>E. citriodora</i>	E16-2-L1	1,03	5482	31085	E16-2-T1	1,034	2021	4223
77	<i>E. citriodora</i>	E17-1-L1	1,00	5938	35412	E17-1-T1	1,004	1410	1997
78	<i>E. citriodora</i>	E17-2-L1	1,01	5828	34374	E17-2-T1	1,012	1825	3370
79	<i>E. citriodora</i>	E18-1-L1	1,04	5631	32941	E18-1-T1	1,039	1247	1615
80	<i>E. citriodora</i>	E18-2-L1	1,04	5376	30002	E18-2-T1	1,038	2046	4346
81	<i>E. citriodora</i>	E19-1-L1	1,14	4780	25936	E19-1-T1	1,135	1919	4181
82	<i>E. citriodora</i>	E19-2-L1	1,11	4682	24246	E19-2-T1	1,106	2203	5367
83	<i>E. citriodora</i>	E20-1-L1	0,93	5470	27933	E20-1-T1	0,933	2028	3839
84	<i>E. citriodora</i>	E20-2-L1	0,98	5435	29014	E20-2-T1	0,982	1881	3477
85	<i>E. citriodora</i>	E21-1-L1	0,89	5388	25694	E21-1-T1	0,885	1858	3055
86	<i>E. citriodora</i>	E21-2-L1	0,94	5112	24483	E21-2-T1	0,937	1822	3109
87	<i>E. citriodora</i>	E22-1-L1	1,02	5376	29365	E22-1-T1	1,016	1276	1654
88	<i>E. citriodora</i>	E22-2-L1	1,06	5330	29999	E22-2-T1	1,056	2048	4429
89	<i>E. citriodora</i>	E23-1-L1	0,99	5967	35400	E23-1-T1	0,994	1911	3631
90	<i>E. citriodora</i>	E23-2-L1	1,00	5869	34534	E23-2-T1	1,003	1745	3054
91	<i>E. citriodora</i>	E24-1-L1	1,10	5274	30579	E24-1-T1	1,099	2016	4469
92	<i>E. citriodora</i>	E24-2-L1	1,11	5252	30696	E24-2-T1	1,113	2125	5025

Quadro 14 – **Parcela do segmento – Longitudinal.**- Análise de variância e comparação de médias.

Parcela do dormente (Análise de variância e médias)		
Direção Longitudinal		
Função	V_{US}	C_{LL}
Grupo <i>Lauraceae</i>		
Parcela 1	5019 a	18864 a
Parcela 2	5021 a	18918 a
C.V. (%)	4,73	8,00
Grupo <i>Vochysiaceae</i>		
Parcela 1	5151 a	21261 a
Parcela 2	5174 a	21221 a
C.V. (%)	7,77	19,55
Grupo <i>Eucalypto citriodora</i>		
Parcela 1	5493 a	30363 a
Parcela 2	5391 a	29805 a
C.V. (%)	5,99	11,90

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas num nível de significância de 5%.

Pelo Quadro 15, relativo a transmissões de onda na direção transversal, nota-se que, pela primeira vez no presente estudo, foi apontada diferença estatisticamente significativa entre as parcelas 1 e 2, para o Grupo do *Eucalypto citriodora*.

Assim, resumindo-se os resultados revelados nos Quadros 14 e 15, pode-se dizer que para as transmissões de onda na direção longitudinal não houve diferença significativa de velocidades e constante dinâmica quando tomadas parcelas distintas ao longo do comprimento da amostra. Para as transmissões transversais, houve diferença significativa somente para um dos grupos estudados (*E. citriodora*).

Quadro 15 – **Parcela do segmento – Transversal** - Análise de variância e comparação de médias.

Parcela do dormente (Análise de variância e médias)		
Direção Transversal		
Função	V_{us}	C_{transv}
Grupo <i>Lauraceae</i>		
Parcela 1	1642 a	2076 a
Parcela 2	1574 a	1921 a
C.V. (%)	17,19	31,61
Grupo <i>Vochysiaceae</i>		
Parcela 1	1918 a	2971 a
Parcela 2	1932 a	2932 a
C.V. (%)	15,24	26,60
Grupo <i>Eucalipto citriodora</i>		
Parcela 1	1801 b	3358 b
Parcela 2	1950 a	3925 a
C.V. (%)	13,19	24,31

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas num nível de significância de 5%.

6.1.3 Corpos-de-prova

O Quadro 16 apresenta os resultados obtidos nos ensaios não-destrutivos (ultra-som) nos corpos-de-prova CP1, retirados das parcelas com sua maior dimensão (comprimento) na direção paralela às fibras (Figura 21). De cada parcela foi produzido um corpo-de-prova CP 1. Assim, o código S1-1-CP1 representou o corpo-de-prova 1 da parcela 1 e S1-2-CP1 representou o corpo-de-prova 1 da parcela 2. Conforme já comentado, os corpos-de-prova CP2 das parcelas não foram estudados.

Os valores obtidos para as velocidades de ultra-som situaram-se entre 5.000 m/s e 5.500 m/s, sendo os maiores valores correspondentes ao grupo do *Eucalipto citriodora*.

Quadro 16 – **Corpos-de-prova – Long.** - Resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP1) - Direção Longitudinal.						
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Código	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som	
					V_{US} (m/s)	C_{LL} (MPa)
1	Lauraceae	S1-1-CP1	0,761	15,02	5104	19821
2	Lauraceae	S1-2-CP1	0,746	15,98	5000	18661
3	Lauraceae	S2-1-CP1	0,732	18,08	5091	18978
4	Lauraceae	S2-2-CP1	0,713	21,35	4851	16776
5	Lauraceae	D3-1-CP1	0,735	15,61	4987	18281
6	Lauraceae	D3-2-CP1	0,723	13,71	5131	19042
7	Lauraceae	D4-1-CP1	0,719	13,53	5537	22041
8	Lauraceae	D4-2-CP1	0,715	14,17	5475	21425
9	Lauraceae	D6-1-CP1	0,735	27,27	4888	17553
10	Lauraceae	D6-2-CP1	0,766	30,71	4485	15403
11	Lauraceae	D7-1-CP1	0,776	18,50	4840	18164
12	Lauraceae	D7-2-CP1	0,733	15,41	5078	18910
13	Lauraceae	D10-1-CP1	0,811	27,85	5013	20378
14	Lauraceae	D10-2-CP1	0,864	28,76	4734	19371
15	Lauraceae	D11-1-CP1	0,736	19,00	4987	18309
16	Lauraceae	D11-2-CP1	0,786	20,99	5039	19955
17	Vochysiaceae	S3-1-CP1	0,731	15,63	4336	13751
18	Vochysiaceae	S3-2-CP1	0,751	14,65	4723	16760
19	Vochysiaceae	S4-1-CP1	0,825	13,71	5506	24997
20	Vochysiaceae	S4-2-CP1	0,802	15,58	5698	26042
21	Vochysiaceae	S5-1-CP1	0,819	14,30	4987	20370
22	Vochysiaceae	S5-2-CP1	0,830	14,68	4746	18689
23	Vochysiaceae	S6-1-CP1	0,827	14,89	5385	23982
24	Vochysiaceae	S6-2-CP1	0,836	15,22	5370	24112
25	Vochysiaceae	S7-1-CP1	0,782	13,79	5269	21719
26	Vochysiaceae	S7-2-CP1	0,779	13,27	5297	21848
27	Vochysiaceae	S8-1-CP1	0,798	14,25	4816	18517
28	Vochysiaceae	S8-2-CP1	0,804	14,72	4792	18456
29	Vochysiaceae	S9-1-CP1	0,801	13,90	5444	23738
30	Vochysiaceae	S9-2-CP1	0,797	13,92	5714	26016
31	Vochysiaceae	S10-1-CP1	0,727	14,35	4336	13677
32	Vochysiaceae	S10-2-CP1	0,703	14,63	4385	13522
33	Vochysiaceae	S11-1-CP1	0,804	13,48	5091	20832
34	Vochysiaceae	S11-2-CP1	0,774	12,70	5158	20582
35	Vochysiaceae	S12-1-CP1	0,755	13,97	5039	19160
36	Vochysiaceae	S12-2-CP1	0,761	15,07	5104	19820
37	Vochysiaceae	D1-1-CP1	0,806	15,14	5283	22495
38	Vochysiaceae	D1-2-CP1	0,790	15,45	5199	21357
39	Vochysiaceae	D2-1-CP1	0,812	13,69	5255	22416
40	Vochysiaceae	D2-2-CP1	0,829	13,09	5283	23124
41	Vochysiaceae	D8-1-CP1	0,812	14,46	5013	20395
42	Vochysiaceae	D8-2-CP1	0,758	14,17	5117	19861
43	Vochysiaceae	D9-1-CP1	0,895	14,27	5521	27282
44	Vochysiaceae	D9-2-CP1	0,897	14,36	5399	26140
45	Vochysiaceae	D12-1-CP1	0,768	14,36	5297	21546
46	Vochysiaceae	D12-2-CP1	0,778	13,44	5444	23065

Continua.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP1) - Direção Longitudinal.						
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Código	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som	
					V_{US} (m/s)	C_{LL} (MPa)
47	<i>E. citriodora</i>	E1-1-CP1	1,019	13,34	5414	29870
48	<i>E. citriodora</i>	E1-2-CP1	1,019	13,27	5326	28909
49	<i>E. citriodora</i>	E2-1-CP1	0,956	12,13	5104	24904
50	<i>E. citriodora</i>	E2-2-CP1	0,966	15,07	4962	23786
51	<i>E. citriodora</i>	E3-1-CP1	1,011	11,90	5255	27910
52	<i>E. citriodora</i>	E3-2-CP1	0,998	11,98	5185	26842
53	<i>E. citriodora</i>	E4-1-CP1	1,052	12,08	5355	30177
54	<i>E. citriodora</i>	E4-2-CP1	1,042	11,65	5414	30550
55	<i>E. citriodora</i>	E5-1-CP1	0,961	13,26	5665	30852
56	<i>E. citriodora</i>	E5-2-CP1	0,974	13,68	5584	30371
57	<i>E. citriodora</i>	E6-1-CP1	0,891	16,99	5648	28438
58	<i>E. citriodora</i>	E6-2-CP1	0,889	12,60	5665	28525
59	<i>E. citriodora</i>	E7-1-CP1	1,039	11,35	5399	30293
60	<i>E. citriodora</i>	E7-2-CP1	1,050	11,52	5444	31112
61	<i>E. citriodora</i>	E8-1-CP1	1,049	11,48	4876	24938
62	<i>E. citriodora</i>	E8-2-CP1	1,059	12,36	4840	24791
63	<i>E. citriodora</i>	E10-1-CP1	1,110	12,04	5868	38215
64	<i>E. citriodora</i>	E10-2-CP1	1,091	12,30	5552	33627
65	<i>E. citriodora</i>	E11-1-CP1	1,014	12,35	5341	28918
66	<i>E. citriodora</i>	E11-2-CP1	0,994	13,97	5131	26163
67	<i>E. citriodora</i>	E12-1-CP1	1,003	12,04	5444	29741
68	<i>E. citriodora</i>	E12-2-CP1	1,072	14,56	5731	35195
69	<i>E. citriodora</i>	E13-1-CP1	0,915	12,07	5904	31876
70	<i>E. citriodora</i>	E13-2-CP1	0,933	12,51	5851	31937
71	<i>E. citriodora</i>	E14-1-CP1	1,028	13,56	5665	32987
72	<i>E. citriodora</i>	E14-2-CP1	1,029	14,16	5616	32442
73	<i>E. citriodora</i>	E15-1-CP1	1,012	11,39	5799	34041
74	<i>E. citriodora</i>	E15-2-CP1	1,011	13,13	5600	31702
75	<i>E. citriodora</i>	E16-1-CP1	1,022	12,92	5568	31684
76	<i>E. citriodora</i>	E16-2-CP1	1,054	14,11	5600	33068
77	<i>E. citriodora</i>	E17-1-CP1	1,021	12,60	5816	34536
78	<i>E. citriodora</i>	E17-2-CP1	1,017	17,92	5748	33604
79	<i>E. citriodora</i>	E18-1-CP1	1,051	11,73	5616	33145
80	<i>E. citriodora</i>	E18-2-CP1	1,087	13,16	5616	34273
81	<i>E. citriodora</i>	E19-1-CP1	1,111	13,12	4769	25277
82	<i>E. citriodora</i>	E19-2-CP1	1,124	12,94	4734	25190
83	<i>E. citriodora</i>	E20-1-CP1	0,958	12,68	5213	26029
84	<i>E. citriodora</i>	E20-2-CP1	0,961	11,21	5297	26971
85	<i>E. citriodora</i>	E21-1-CP1	0,842	13,59	5385	24413
86	<i>E. citriodora</i>	E21-2-CP1	0,888	14,33	5078	22896
87	<i>E. citriodora</i>	E22-1-CP1	1,080	11,29	5341	30817
88	<i>E. citriodora</i>	E22-2-CP1	1,083	14,60	5370	31225
89	<i>E. citriodora</i>	E23-1-CP1	1,012	14,35	5939	35684
90	<i>E. citriodora</i>	E23-2-CP1	0,995	11,64	5748	32875
91	<i>E. citriodora</i>	E24-1-CP1	1,096	13,24	5355	31436
92	<i>E. citriodora</i>	E24-2-CP1	1,114	13,83	5312	31417

O Quadro 17 apresenta a análise de variância entre os resultados obtidos nos CP 1 das parcelas 1 e 2.

Confirmando os resultados da análise de variância das parcelas na direção longitudinal, não foi acusada diferença estatisticamente significativa entre os resultados dos corpos-de-prova das parcelas 1 e 2. Novamente nesta situação, os coeficientes de variação observados para as medidas foram baixos, atingindo um valor máximo de 17,4% para a constante dinâmica do Grupo *Vochysiaceae*.

Quadro 17 – **Corpos-de-prova – Long. – não-destrutivo**- Análise de variância e comparação de médias.

Corpos-de-prova (Análise de variância e médias)		
Direção Longitudinal		
Função	V_{US}	C_{LL}
Grupo <i>Lauraceae</i>		
Parcela 1 - CP 1	5056 a	19191 a
Parcela 2 - CP 1	4974 a	18693 a
C.V. (%)	5,12	8,87
Grupo <i>Vochysiaceae</i>		
Parcela 1 - CP 1	5105 a	20992 a
Parcela 2 - CP 1	5162 a	21293 a
C.V. (%)	7,23	17,36
Grupo <i>Eucalipto citriodora</i>		
Parcela 1 - CP 1	5467 a	30269 a
Parcela 2 - CP 1	5409 a	29890 a
C.V. (%)	5,65	12,03

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

O Quadro 18 apresenta os resultados obtidos nos ensaios não-destrutivos de ultra-som conduzidos com os corpos-de-prova CP3 das parcelas 1 e 2 de cada segmento de dormente.

Apesar dos valores de velocidade transversal terem se mantido praticamente inalterados em relação àqueles observados para as parcelas (Quadro 15), pela análise de variância apresentada no Quadro 19 observam-se que a diferença estatística observada entre as parcelas 1 e 2 do Grupo *Eucalipto citriodora* (Quadro 15) não se confirmou para os corpos-de-prova.

Quadro 18 – **Corpos-de-prova – Transv.** - Resumo dos resultados dos ensaios não-destrutivos.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP3) - Direção Transversal.						
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Codigo	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som	
					v_{US} (m/s)	C_{LL} (MPa)
1	Lauraceae	S1-1-CP3	0,664		1435	1368
2	Lauraceae	S1-2-CP3	0,687	15,80	1506	1558
3	Lauraceae	S2-1-CP3	0,679	14,18	1587	1711
4	Lauraceae	S2-2-CP3	0,744	17,00	1626	1968
5	Lauraceae	D3-1-CP3	0,723	15,41	1773	2273
6	Lauraceae	D3-2-CP3	0,723	13,56	1420	1460
7	Lauraceae	D4-1-CP3	0,710	13,66	1506	1610
8	Lauraceae	D4-2-CP3	0,766	15,36	1805	2496
9	Lauraceae	D6-1-CP3	0,784	24,68	1637	2100
10	Lauraceae	D6-2-CP3	0,713	19,11	1570	1757
11	Lauraceae	D7-1-CP3	0,779		1838	2632
12	Lauraceae	D7-2-CP3	0,761	16,00	1689	2172
13	Lauraceae	D10-1-CP3	0,733	13,07	1859	2534
14	Lauraceae	D10-2-CP3	0,733	18,51	1724	2180
15	Lauraceae	D11-1-CP3	0,744	18,65	1563	1817
16	Lauraceae	D11-2-CP3	0,687		1597	1753
17	Vochysiaceae	S3-1-CP3	0,733	13,95	2288	3840
18	Vochysiaceae	S3-2-CP3	0,717	14,87	2288	3754
19	Vochysiaceae	S4-1-CP3	0,822	13,05	1901	2969
20	Vochysiaceae	S4-2-CP3	0,812	13,63	2008	3274
21	Vochysiaceae	S5-1-CP3	0,864	12,99	1786	2756
22	Vochysiaceae	S5-2-CP3	0,849	13,69	1905	3081
23	Vochysiaceae	S6-1-CP3	0,868	13,46	1502	1957
24	Vochysiaceae	S6-2-CP3	0,836	12,92	1610	2167
25	Vochysiaceae	S7-1-CP3	0,774	13,73	1866	2695
26	Vochysiaceae	S7-2-CP3	0,792	12,79	1799	2563
27	Vochysiaceae	S8-1-CP3	0,810	12,98	1845	2759
28	Vochysiaceae	S8-2-CP3	0,779	13,26	1938	2928
29	Vochysiaceae	S9-1-CP3	0,787	13,07	2024	3226
30	Vochysiaceae	S9-2-CP3	0,789	12,63	2049	3311
31	Vochysiaceae	S10-1-CP3	0,709	13,60	2331	3854
32	Vochysiaceae	S10-2-CP3	0,705	12,87	2336	3847
33	Vochysiaceae	S11-1-CP3	0,783	12,75	2273	4042
34	Vochysiaceae	S11-2-CP3	0,705		907	579
35	Vochysiaceae	S12-1-CP3	0,760	12,97	1550	1826
36	Vochysiaceae	S12-2-CP3	0,756	13,26	1517	1740
37	Vochysiaceae	D1-1-CP3	0,786	14,04	1479	1720
38	Vochysiaceae	D1-2-CP3	0,779	14,39	1727	2324
39	Vochysiaceae	D2-1-CP3	0,761	12,66	1751	2334
40	Vochysiaceae	D2-2-CP3	0,799	13,57	1675	2240
41	Vochysiaceae	D8-1-CP3	0,781	14,21	1582	1954
42	Vochysiaceae	D8-2-CP3	0,792		1689	2261
43	Vochysiaceae	D9-1-CP3	0,971	13,40	2183	4631
44	Vochysiaceae	D9-2-CP3	0,934	13,65	1684	2647
45	Vochysiaceae	D12-1-CP3	0,775	13,18	1689	2212
46	Vochysiaceae	D12-2-CP3	0,803	14,25	1678	2261

Continua.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP3) - Direção Transversal. (Cont.)						
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Codigo	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som	
					v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)
47	<i>E. citriodora</i>	E1-1-CP3	1,028	12,69	1795	3313
48	<i>E. citriodora</i>	E1-2-CP3	1,035	13,22	1821	3435
49	<i>E. citriodora</i>	E2-1-CP3	0,961	15,21	2049	4035
50	<i>E. citriodora</i>	E2-2-CP3	0,956	15,22	2105	4239
51	<i>E. citriodora</i>	E3-1-CP3	0,999	13,74	1969	3872
52	<i>E. citriodora</i>	E3-2-CP3	0,987	15,37	1835	3322
53	<i>E. citriodora</i>	E4-1-CP3	1,079	14,43	2041	4492
54	<i>E. citriodora</i>	E4-2-CP3	1,080	13,90	2237	5405
55	<i>E. citriodora</i>	E5-1-CP3	0,945	12,99	1934	3535
56	<i>E. citriodora</i>	E5-2-CP3	0,958	14,15	1901	3462
57	<i>E. citriodora</i>	E6-1-CP3	0,906	12,53	1957	3469
58	<i>E. citriodora</i>	E6-2-CP3	0,923	13,18	1919	3402
59	<i>E. citriodora</i>	E7-1-CP3	1,065	13,32	1972	4145
60	<i>E. citriodora</i>	E7-2-CP3	1,050	14,37	1961	4036
61	<i>E. citriodora</i>	E8-1-CP3	1,047	13,95	2174	4946
62	<i>E. citriodora</i>	E8-2-CP3	1,006	13,94	2033	4155
63	<i>E. citriodora</i>	E10-1-CP3	1,115	12,90	2024	4569
64	<i>E. citriodora</i>	E10-2-CP3	1,114	14,34	2012	4508
65	<i>E. citriodora</i>	E11-1-CP3	0,978	13,25	1832	3282
66	<i>E. citriodora</i>	E11-2-CP3	0,940	13,82	1786	2999
67	<i>E. citriodora</i>	E12-1-CP3	1,062	13,21	2079	4588
68	<i>E. citriodora</i>	E12-2-CP3	1,076	14,73	2066	4595
69	<i>E. citriodora</i>	E13-1-CP3	0,929	12,22	1701	2687
70	<i>E. citriodora</i>	E13-2-CP3	0,937	13,12	1650	2551
71	<i>E. citriodora</i>	E14-1-CP3	0,930	12,44	1919	3428
72	<i>E. citriodora</i>	E14-2-CP3	0,955	14,05	1923	3533
73	<i>E. citriodora</i>	E15-1-CP3	1,140		2037	4729
74	<i>E. citriodora</i>	E15-2-CP3	1,056	14,28	1931	3937
75	<i>E. citriodora</i>	E16-1-CP3	1,013	4,38	2062	4307
76	<i>E. citriodora</i>	E16-2-CP3	0,989		2024	4052
77	<i>E. citriodora</i>	E17-1-CP3	1,002	19,22	1605	2582
78	<i>E. citriodora</i>	E17-2-CP3	0,968	8,17	1919	3568
79	<i>E. citriodora</i>	E18-1-CP3	1,048	13,60	1808	3426
80	<i>E. citriodora</i>	E18-2-CP3	1,062	15,26	1916	3897
81	<i>E. citriodora</i>	E19-1-CP3	1,143	13,75	1905	4147
82	<i>E. citriodora</i>	E19-2-CP3	1,037	16,08	2075	4463
83	<i>E. citriodora</i>	E20-1-CP3	0,973	13,86	1901	3518
84	<i>E. citriodora</i>	E20-2-CP3	0,971	14,16	1931	3620
85	<i>E. citriodora</i>	E21-1-CP3	0,826	12,64	1742	2507
86	<i>E. citriodora</i>	E21-2-CP3	0,841	15,16	1880	2972
87	<i>E. citriodora</i>	E22-1-CP3	1,000	6,45	2227	4962
88	<i>E. citriodora</i>	E22-2-CP3	1,035	16,60	2198	5001
89	<i>E. citriodora</i>	E23-1-CP3	0,986	14,03	1873	3458
90	<i>E. citriodora</i>	E23-2-CP3	0,976	14,98	1718	2882
91	<i>E. citriodora</i>	E24-1-CP3	1,092	14,18	2066	4660
92	<i>E. citriodora</i>	E24-2-CP3	1,100	15,42	2151	5090

Quadro 19 – **Corpos-de-prova – Transv. – não-destrutivo** - Análise de variância e comparação de médias.

Corpos-de-prova (Análise de variância e médias)		
Direção Transversal		
Função	V_{us}	C_{transv}
Grupo <i>Lauraceae</i>		
Parcela 1 - C P 3	1650 a	2006 a
Parcela 2 - C P 3	1617 a	1918 a
C.V. (%)	8,64	20,66
Grupo <i>Vochysiaceae</i>		
Parcela 1 - C P 3	1870 a	2852 a
Parcela 2 - C P 3	1787 a	2599 a
C.V. (%)	17,40	31,80
Grupo <i>Eucalinto Citriodora</i>		
Parcela 1 - C P 3	1942 a	3855 a
Parcela 2 - C P 3	1956 a	3875 a
C.V. (%)	7,58	19,16

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

De fato, a parcela 1 apresentou velocidades médias em torno de 1801m/s, inferiores às observadas para a parcela 2, e para os corpos-de-prova das parcelas, que situaram-se em torno de 1950 m/s.

Considerando-se que as transmissões se deram em frações da madeira (parcela e corpo-de-prova) cujas dimensões eram muito próximas, pode-se admitir que as relações L/λ ficaram constantes (em torno de 3,5 nos dois casos). Assim, a alteração na velocidade poderia ser explicada pela variação no teor de umidade das frações ou pela presença diferenciada de defeitos. Considerando-se que as menores velocidades foram obtidas na parcela 1, obtida próxima do topo do dormente (tendo, assim, teoricamente, menor umidade e maior presença de fendilhamento de topo), o decréscimo de velocidade foi atribuído à presença mais concentrada de defeitos na parcela 1. Tais defeitos podem ter sido eliminados ou reduzidos quando da confecção do corpo-de-prova CP3, com as operações de desgrosso e aplainamento das faces.

Com esse resultado, induz-se que, em medições transversais (ao longo da seção do dormente), o método do ultra-som se mostrou sensível à presença dos defeitos característicos do topo dos dormentes para o grupo do Eucalipto citriodora.

6.2 Ensaios destrutivos em corpos-de-prova

Os ensaios destrutivos nos corpos-de-prova foram realizados à umidade de equilíbrio dos corpos-de-prova (nos quadros do apêndice referenciado como umidade corrente) que se situou entre 12% e 15%. Todos os resultados apresentados foram corrigidos (Equação 4, para resistências) para a umidade de referência de 12% .

Todos os ensaios destrutivos foram realizados sem que fossem notadas ocorrências anormais, no geral.

O procedimento sugerido por Colenci (2002), para a realização do ensaio de dureza paralela e normal às fibras mostrou-se adequado e de fácil aplicação. O afastamento entre a esfera de penetração e a aresta do corpo-de-prova foi mantido em 3cm para os ensaios de dureza normal às fibras.

Para os ensaios de compressão normal às fibras, o procedimento geométrico para cálculo da resistência convencional (f_{c90}) dificultou a obtenção desses valores para alguns corpos-de-prova CP3.

O Quadro 20 apresenta os principais resultados obtidos nos ensaios de dureza paralela e normal às fibras e de compressão paralela às fibras, realizados nos corpos-de-prova CP1.

Do Quadro 21 constam os resultados da análise de variância dos resultados dos resultados do CP1 das parcelas 1 e 2. Não foi acusada diferença estatística entre os corpos-de-prova das parcelas, quando foram analisados os resultados dos ensaios destrutivos. A hipótese já apresentada de que as operações de preparo do corpo-de-prova reduzem ou eliminam eventuais defeitos da fração maior do material se aplica a este caso, também.

Quadro 20 – **Corpos-de-prova – Long.** - Resumo dos resultados dos ensaios destrutivos.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP1) - Direção Longitudinal.						
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Código	Ensaio Destrutivo - Umid. de Referência - 12%			
			$f_{c0,12}$ (MPa)	$f_{H0,12}$ (MPa)	$f_{H90,12} (*)$ (MPa)	$E_{c0,12}$ (MPa)
1	Lauraceae	S1-1-CP1	48,14	47,71	40,50	12110
2	Lauraceae	S1-2-CP1	51,07	43,88	39,53	14055
3	Lauraceae	S2-1-CP1	35,16	41,25	38,93	8731
4	Lauraceae	S2-2-CP1	46,00	42,68	31,49	17200
5	Lauraceae	D3-1-CP1	48,65	40,61	41,46	13832
6	Lauraceae	D3-2-CP1	38,81	39,25	46,74	13134
7	Lauraceae	D4-1-CP1	49,89	48,66	43,93	16151
8	Lauraceae	D4-2-CP1	46,27	45,49	48,29	12499
9	Lauraceae	D6-1-CP1	54,67	38,71	39,75	19777
10	Lauraceae	D6-2-CP1	54,74	47,02	44,34	19183
11	Lauraceae	D7-1-CP1		47,81	53,53	
12	Lauraceae	D7-2-CP1		47,79	48,16	
13	Lauraceae	D10-1-CP1	70,14	55,80	60,08	21150
14	Lauraceae	D10-2-CP1	73,68	54,60	53,48	21684
15	Lauraceae	D11-1-CP1	56,72	40,69	42,98	18433
16	Lauraceae	D11-2-CP1	45,69	47,29	44,81	15786
17	Vochysiaceae	S3-1-CP1	25,55	61,09	51,32	6126
18	Vochysiaceae	S3-2-CP1	24,12	61,18	52,92	6403
19	Vochysiaceae	S4-1-CP1	68,36	68,55	63,34	19876
20	Vochysiaceae	S4-2-CP1	61,32	70,26	50,35	16074
21	Vochysiaceae	S5-1-CP1	47,67	72,74	56,88	15221
22	Vochysiaceae	S5-2-CP1	36,84	81,35	69,72	9505
23	Vochysiaceae	S6-1-CP1	49,48	75,23	57,64	12980
24	Vochysiaceae	S6-2-CP1	63,43	88,05	63,30	18542
25	Vochysiaceae	S7-1-CP1	46,76	72,24	59,26	14108
26	Vochysiaceae	S7-2-CP1	51,48	71,31	58,77	14880
27	Vochysiaceae	S8-1-CP1		96,65	63,67	
28	Vochysiaceae	S8-2-CP1		77,80	74,44	
29	Vochysiaceae	S9-1-CP1	53,03	74,45	62,29	17189
30	Vochysiaceae	S9-2-CP1	55,64	74,21	60,58	21173
31	Vochysiaceae	S10-1-CP1	24,50	62,04	52,50	5819
32	Vochysiaceae	S10-2-CP1	27,94	56,34	45,34	5664
33	Vochysiaceae	S11-1-CP1	0,52	67,45	58,00	150
34	Vochysiaceae	S11-2-CP1	47,23	64,65	51,56	13394
35	Vochysiaceae	S12-1-CP1	47,42	66,20	57,77	13418
36	Vochysiaceae	S12-2-CP1	51,63	64,18	56,81	15805
37	Vochysiaceae	D1-1-CP1	63,90	72,27	70,46	18279
38	Vochysiaceae	D1-2-CP1	62,12	73,60	48,03	20718
39	Vochysiaceae	D2-1-CP1	48,26	66,74	65,14	13429
40	Vochysiaceae	D2-2-CP1	40,44	71,10	62,57	15501
41	Vochysiaceae	D8-1-CP1	50,46	69,29	43,54	11751
42	Vochysiaceae	D8-2-CP1	53,83	54,33	59,04	15902
43	Vochysiaceae	D9-1-CP1	60,92	86,11	72,06	16014
44	Vochysiaceae	D9-2-CP1	71,26	96,81	87,13	15969
45	Vochysiaceae	D12-1-CP1	61,00	61,59	60,39	17268
46	Vochysiaceae	D12-2-CP1	64,76	70,79	56,16	18403
(*)	Os ensaios de dureza normal às fibras, foram realizados nos corpos-de-prova CP1, aplicando-se o carregamento na direção transversal (normal) às fibras.					

Continua.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP1) - Direção Longitudinal. (Cont.)						
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Código	Ensaio Destrutivo - Umid. de Referência - 12%			
			$f_{c0,12}$ (MPa)	$f_{H0,12}$ (MPa)	$f_{H90,12}$ (*) (MPa)	$E_{c0,12}$ (MPa)
47	E. Citriodora	E1-1-CP1	73,61	94,33	98,83	20763
48	E. Citriodora	E1-2-CP1	74,18	98,05	85,72	27037
49	E. Citriodora	E2-1-CP1	61,17	82,40	85,62	18278
50	E. Citriodora	E2-2-CP1	63,97	91,24	81,66	16358
51	E. Citriodora	E3-1-CP1	69,60	81,79	83,81	19151
52	E. Citriodora	E3-2-CP1	67,83	79,70	68,91	21031
53	E. Citriodora	E4-1-CP1	72,86	89,13	89,71	19631
54	E. Citriodora	E4-2-CP1	66,67	87,32	87,32	16582
55	E. Citriodora	E5-1-CP1	77,71	80,39	85,58	21131
56	E. Citriodora	E5-2-CP1	77,03	86,89	74,41	22336
57	E. Citriodora	E6-1-CP1	72,69	68,22	72,60	24843
58	E. Citriodora	E6-2-CP1	67,75	59,82	61,26	22637
59	E. Citriodora	E7-1-CP1	82,13	87,84	87,84	22147
60	E. Citriodora	E7-2-CP1	77,43	80,21	95,10	27526
61	E. Citriodora	E8-1-CP1	66,82	79,03	84,47	16753
62	E. Citriodora	E8-2-CP1	58,43	81,55	81,83	16285
63	E. Citriodora	E10-1-CP1	79,32	104,53	99,03	27903
64	E. Citriodora	E10-2-CP1	73,04	83,59	94,07	23951
65	E. Citriodora	E11-1-CP1	69,71	79,62	78,12	19373
66	E. Citriodora	E11-2-CP1	72,37	78,17	82,03	15539
67	E. Citriodora	E12-1-CP1	78,64	87,81	72,27	21527
68	E. Citriodora	E12-2-CP1	89,36	95,46	102,58	25449
69	E. Citriodora	E13-1-CP1	58,35	77,48	72,88	20850
70	E. Citriodora	E13-2-CP1	62,29	71,93	74,26	18972
71	E. Citriodora	E14-1-CP1	87,45	86,15	102,11	26386
72	E. Citriodora	E14-2-CP1	85,27	88,65	88,50	27102
73	E. Citriodora	E15-1-CP1	81,67	82,01	71,28	27344
74	E. Citriodora	E15-2-CP1	83,49	81,75	86,22	22456
75	E. Citriodora	E16-1-CP1	81,71	81,82	91,11	22294
76	E. Citriodora	E16-2-CP1	80,73	83,07	100,00	22041
77	E. Citriodora	E17-1-CP1	82,03	76,12	94,52	23278
78	E. Citriodora	E17-2-CP1	91,52	92,80	117,89	25557
79	E. Citriodora	E18-1-CP1	75,30	83,40	92,10	23653
80	E. Citriodora	E18-2-CP1	82,59	86,58	108,77	30759
81	E. Citriodora	E19-1-CP1	62,94	92,48	88,23	13261
82	E. Citriodora	E19-2-CP1	60,98	103,75	99,62	13143
83	E. Citriodora	E20-1-CP1	79,78	57,00	76,97	20941
84	E. Citriodora	E20-2-CP1	71,35	67,32	71,41	20256
85	E. Citriodora	E21-1-CP1	60,41	55,13	62,19	18292
86	E. Citriodora	E21-2-CP1	49,40	55,58	54,72	12413
87	E. Citriodora	E22-1-CP1	81,38	83,73	94,30	20810
88	E. Citriodora	E22-2-CP1	89,53	97,27	91,20	23900
89	E. Citriodora	E23-1-CP1	72,18	73,82	84,52	23141
90	E. Citriodora	E23-2-CP1	67,43	76,87	67,40	22366
91	E. Citriodora	E24-1-CP1	86,90	87,32	97,68	23405
92	E. Citriodora	E24-2-CP1	84,62	89,39	99,07	23748
(*)		Os ensaios de dureza normal às fibras, foram realizados nos corpos-de-prova CP1, aplicando-se o carregamento na direção transversal (normal) às fibras.				

Os coeficientes de variação, obtidos nos ensaios mecânicos na direção longitudinal (paralela às fibras) foram baixos, no geral. Contudo, para o Grupo *Vochysiaceae* eles apresentaram-se bem elevados, para os ensaios de compressão paralela às fibras, fato considerado anormal. Não foram encontradas evidências que justificassem esse acontecimento, além da própria variação intrínseca da família.

Quadro 21 – **Corpos-de-prova – Longitudinal – destrutivo** - Análise de variância e comparação de médias.

Ensaio Destrutivo (Direção Longitudinal)		
Corpo-de-prova CP1	$f_{c,0}$	$E_{c,0}$
Grupo <i>Lauraceae</i>		
Parcela 1 - CP1	42,48 a	13681 a
Parcela 2 - CP1	40,28 a	13593 a
C.V. (%)	14,89	17,72
Grupo <i>Vochysiaceae</i>		
Parcela 1 - CP1	43,30 a	12410 a
Parcela 2 - CP1	47,56 a	14202 a
C.V. (%)	33,50	36,90
Grupo <i>Eucalypto citriodora</i>		
Parcela 1 - CP1	73,16 a	21244 a
Parcela 2 - CP1	70,91a	21074 a
C.V. (%)	12,71	19,14

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas num nível de significância de 5%.

Os Quadros 22 e 23 apresentam, respectivamente, os resultados gerais e a análise de variância relativos aos ensaios destrutivos aplicados na direção transversal às fibras, realizados nos corpos-de-prova CP3.

Na direção transversal, analogamente ao ocorrido para a direção longitudinal, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os resultados obtidos em corpos-de-prova das parcelas 1 e 2.

Quadro 22 – **Corpos-de-prova – Transversal** - Resumo dos resultados dos ensaios destrutivos.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP3) - Direção Transversal.				
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Código	Ensaio Destrutivo	
			Umidade de Referência 12%	
			$f_{c90,12}$ (MPa)	$E_{c90,12}$ (MPa)
1	<i>Lauraceae</i>	S1-1-CP3	3,84	537
2	<i>Lauraceae</i>	S1-2-CP3		
3	<i>Lauraceae</i>	S2-1-CP3	5,54	577
4	<i>Lauraceae</i>	S2-2-CP3	4,60	389
5	<i>Lauraceae</i>	D3-1-CP3	7,27	811
6	<i>Lauraceae</i>	D3-2-CP3		819
7	<i>Lauraceae</i>	D4-1-CP3		314
8	<i>Lauraceae</i>	D4-2-CP3	6,17	684
9	<i>Lauraceae</i>	D6-1-CP3	5,52	468
10	<i>Lauraceae</i>	D6-2-CP3	4,13	368
11	<i>Lauraceae</i>	D7-1-CP3	3,46	425
12	<i>Lauraceae</i>	D7-2-CP3		
13	<i>Lauraceae</i>	D10-1-CP3	7,23	898
14	<i>Lauraceae</i>	D10-2-CP3	5,98	553
15	<i>Lauraceae</i>	D11-1-CP3	4,56	497
16	<i>Lauraceae</i>	D11-2-CP3		
17	<i>Vochysiaceae</i>	S3-1-CP3		2509
18	<i>Vochysiaceae</i>	S3-2-CP3	10,86	1995
19	<i>Vochysiaceae</i>	S4-1-CP3	7,74	1404
20	<i>Vochysiaceae</i>	S4-2-CP3	8,60	1594
21	<i>Vochysiaceae</i>	S5-1-CP3	8,85	1301
22	<i>Vochysiaceae</i>	S5-2-CP3	9,46	1302
23	<i>Vochysiaceae</i>	S6-1-CP3	9,39	1331
24	<i>Vochysiaceae</i>	S6-2-CP3		726
25	<i>Vochysiaceae</i>	S7-1-CP3	8,42	1420
26	<i>Vochysiaceae</i>	S7-2-CP3	6,96	936
27	<i>Vochysiaceae</i>	S8-1-CP3	9,06	938
28	<i>Vochysiaceae</i>	S8-2-CP3	7,47	819
29	<i>Vochysiaceae</i>	S9-1-CP3	8,67	1447
30	<i>Vochysiaceae</i>	S9-2-CP3	9,78	1399
31	<i>Vochysiaceae</i>	S10-1-CP3	10,48	1867
32	<i>Vochysiaceae</i>	S10-2-CP3	11,29	1744
33	<i>Vochysiaceae</i>	S11-1-CP3	9,20	2400
34	<i>Vochysiaceae</i>	S11-2-CP3		
35	<i>Vochysiaceae</i>	S12-1-CP3	5,97	494
36	<i>Vochysiaceae</i>	S12-2-CP3	5,40	619
37	<i>Vochysiaceae</i>	D1-1-CP3	5,31	608
38	<i>Vochysiaceae</i>	D1-2-CP3	7,72	1021
39	<i>Vochysiaceae</i>	D2-1-CP3		
40	<i>Vochysiaceae</i>	D2-2-CP3		
41	<i>Vochysiaceae</i>	D8-1-CP3	5,76	745
42	<i>Vochysiaceae</i>	D8-2-CP3		
43	<i>Vochysiaceae</i>	D9-1-CP3		1795
44	<i>Vochysiaceae</i>	D9-2-CP3	7,56	965
45	<i>Vochysiaceae</i>	D12-1-CP3	6,21	816
46	<i>Vochysiaceae</i>	D12-2-CP3		

Continua.

Dados Gerais Obtidos dos Corpos-de-Prova (CP3) - Direção Transversal.				
Amostra (Corpos-de-Prova)	Identificação	Código	Ensaio Destrutivo Umidade de Referência 12%	
			$f_{c90,12}$ (MPa)	$E_{c90,12}$ (MPa)
47	<i>E. citriodora</i>	E1-1-CP3		633
48	<i>E. citriodora</i>	E1-2-CP3	7,46	
49	<i>E. citriodora</i>	E2-1-CP3	11,70	1503
50	<i>E. citriodora</i>	E2-2-CP3	12,58	1744
51	<i>E. citriodora</i>	E3-1-CP3	7,86	657
52	<i>E. citriodora</i>	E3-2-CP3	7,63	854
53	<i>E. citriodora</i>	E4-1-CP3		1662
54	<i>E. citriodora</i>	E4-2-CP3		1156
55	<i>E. citriodora</i>	E5-1-CP3		796
56	<i>E. citriodora</i>	E5-2-CP3	11,63	1432
57	<i>E. citriodora</i>	E6-1-CP3	8,13	825
58	<i>E. citriodora</i>	E6-2-CP3	9,66	1205
59	<i>E. citriodora</i>	E7-1-CP3	11,36	1122
60	<i>E. citriodora</i>	E7-2-CP3	11,14	1394
61	<i>E. citriodora</i>	E8-1-CP3		1792
62	<i>E. citriodora</i>	E8-2-CP3		1736
63	<i>E. citriodora</i>	E10-1-CP3	11,78	1446
64	<i>E. citriodora</i>	E10-2-CP3	11,70	1641
65	<i>E. citriodora</i>	E11-1-CP3		530
66	<i>E. citriodora</i>	E11-2-CP3	8,15	729
67	<i>E. citriodora</i>	E12-1-CP3		1536
68	<i>E. citriodora</i>	E12-2-CP3	12,41	1696
69	<i>E. citriodora</i>	E13-1-CP3	7,25	451
70	<i>E. citriodora</i>	E13-2-CP3	6,89	570
71	<i>E. citriodora</i>	E14-1-CP3	9,19	830
72	<i>E. citriodora</i>	E14-2-CP3	11,60	1370
73	<i>E. citriodora</i>	E15-1-CP3	6,83	981
74	<i>E. citriodora</i>	E15-2-CP3	12,26	1523
75	<i>E. citriodora</i>	E16-1-CP3	9,05	1022
76	<i>E. citriodora</i>	E16-2-CP3		
77	<i>E. citriodora</i>	E17-1-CP3		1426
78	<i>E. citriodora</i>	E17-2-CP3	7,79	1094
79	<i>E. citriodora</i>	E18-1-CP3		562
80	<i>E. citriodora</i>	E18-2-CP3	8,78	1017
81	<i>E. citriodora</i>	E19-1-CP3	11,50	1327
82	<i>E. citriodora</i>	E19-2-CP3	9,88	1135
83	<i>E. citriodora</i>	E20-1-CP3	10,56	1242
84	<i>E. citriodora</i>	E20-2-CP3	10,22	1241
85	<i>E. citriodora</i>	E21-1-CP3	5,43	634
86	<i>E. citriodora</i>	E21-2-CP3	11,38	1405
87	<i>E. citriodora</i>	E22-1-CP3		1729
88	<i>E. citriodora</i>	E22-2-CP3		1921
89	<i>E. citriodora</i>	E23-1-CP3	10,61	1329
90	<i>E. citriodora</i>	E23-2-CP3	9,59	1027
91	<i>E. citriodora</i>	E24-1-CP3		1943
92	<i>E. citriodora</i>	E24-2-CP3		1994

Quadro 23 – **Corpos-de-prova – Transversal – destrutivo** - Análise de variância e comparação de médias.

Ensaio Destrutivo (Direção Transversal)		
Corpo-de-prova CP3	$f_{c,90}$	$E_{c,90}$
Grupo <i>Lauraceae</i>		
Parcela 1 - CP3	5,40 a	602 a
Parcela 2 - CP3	4,13 a	389 a
C.V. (%)	25,41	38,78
Grupo <i>Vochysiaceae</i>		
Parcela 1 - CP3	7,76 a	1155 a
Parcela 2 - CP3	8,02 a	1150 a
C.V. (%)	21,93	36,54
Grupo <i>Eucalypto citriodora</i>		
Parcela 1 - CP3	9,31 a	1027 a
Parcela 2 - CP3	9,64 a	1198 a
C.V. (%)	18,69	29,43

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

6.3 Relações entre as variáveis estudadas

A análise conduzida buscou correlacionar resultados de algumas das principais variáveis mensuradas ao longo do programa experimental. Correlacionou entre si, num primeiro momento, resultados obtidos em ensaios destrutivos, depois resultados dos ensaios não-destrutivos e, por fim, correlacionou resultados das duas modalidades de ensaios realizados.

6.3.1 Ensaio destrutivo

O Quadro 24 apresenta os principais valores das relações estudadas para os corpos-de-prova.

A relação entre as resistências à compressão (normal e paralela) às fibras é preconizada pela NBR 7190 (ABNT, 1997), como sendo igual a 0,25. Os valores obtidos no presente trabalho, foram sempre inferiores a esse índice teórico sugerido. Ressalta-se o elevado coeficiente de variação obtido para o Grupo das *Vochysiaceae*.

Quadro 24 – Relações entre principais variáveis dos ensaios destrutivos.

Função	$f_{c90,12}/f_{c0,12}$	$E_{c0,12}/E_{c90,12}$
Grupo <i>Lauraceae</i>		
Média	0,124	28,885
Desvio Padrão	0,029	13,452
C.V.(%)	23,400	46,572
Grupo <i>Vochysiaceae</i>		
Média	0,184	12,090
Desv. Padrão	0,121	8,756
C.V.(%)	65,800	72,423
Grupo <i>Eucalipto citriodora</i>		
Média	0,135	20,284
Desv. Padrão	0,029	9,165
C.V.(%)	21,470	45,182

A relação entre os módulos de elasticidade à compressão nas direções paralela às fibras e normal às fibras situa-se, teoricamente entre 12,5 (longitudinal/radial) e 20,0 (longitudinal/tangencial). Os resultados obtidos no trabalho situaram-se, na média, dentro dessa faixa, para os Grupos das *Vochysiaceae* e *Eucalipto citriodora*. Contudo, os valores obtidos para os coeficientes de variação foram extremamente altos, dificultando uma análise precisa da relação.

6.3.2 Ensaios não-destrutivos

Foram comparados os valores obtidos nas transmissões longitudinais de ondas (velocidade e constante dinâmica) entre os segmento do dormente (fração maior do dormente, na presente pesquisa) e as parcelas e corpos-de-prova. Os resultados das análises de variância estão apresentadas nos Quadros 25 e 26, respectivamente.

Nota-se que, para os dois casos tratados, houve diferença estatisticamente significativa somente para o Grupo do *Eucalipto citriodora*. Conforme poderia ser esperado, as velocidades de transmissão da onda na parcela e no corpo-de-prova foram sempre superiores àquelas observadas nos segmentos, por conta da menor incidência de defeitos nos elementos menores. O método do ultra-som mostrou-se sensível a essa ocorrência, no caso desse grupo.

Quadro 25 – Relações entre principais variáveis dos ensaios não-destrutivos.

Segmento x parcela

Ensaio não-destrutivo (Segmento x Parcela)		
Função	$V_{us,med}$	$C_{LL,med}$
Grupo Lauraceae		
Segmento	5052 a	18144 a
Parcela	5020 a	18891 a
C.V. (%)	4,57	9,20
Grupo Vochysiaceae		
Segmento	4974 a	19187 a
Parcela	5163 a	21241 a
C.V. (%)	10,08	22,67
Grupo Eucalipto citriodora		
Segmento	5147 b	27042 b
Parcela	5442 a	30084 a
C.V. (%)	7,11	13,55

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

Quadro 26 – Relações entre principais variáveis dos ensaios não-destrutivos.

Segmento x corpo-de-prova

Ensaio não-destrutivo (Segmento x Corpo-de-Prova)		
Função	$V_{us,med}$	$C_{LL,med}$
Grupo Lauraceae		
Segmento	5052 a	18144 a
Corpo-de-Prova	5015 a	18942 a
C.V. (%)	4,60	9,28
Grupo Vochysiaceae		
Segmento	5134 a	19187 a
Corpo-de-Prova	4974 a	21142 a
C.V. (%)	9,86	21,85
Grupo Eucalipto citriodora		
Segmento	5147 b	27042 b
Corpo-de-Prova	5438 a	30080 a
C.V. (%)	6,93	13,52

Obs. Dentro de um mesmo grupo, letras iguais indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de significância de 5%.

6.3.3 Ensaio estatístico e dinâmico

O estudo das correlações foi conduzido para os dados das duas modalidades de ensaios considerando-se um nível de significância de 5%. Todos os dados foram

reportados à unidade de equilíbrio dos corpos-de-prova, que variou de 12 a 15%, conforme já comentado.

6.3.3.1 Direção longitudinal

As Figuras 30 a 33 ilustram correlações obtidas entre variáveis do ensaio não-destrutivo e do ensaio destrutivo convencional, mensuradas nos corpos-de-prova.

Na seqüência como as quatro figuras foram apresentadas, evidenciamos a melhora paulatina no coeficiente de determinação das regressões, como consequência da presença de um conjuntos de dados menos dispersos. De fato, ao se trabalhar com a velocidade de propagação da onda, nota-se grande dispersão dos resultados (Figuras 30 e 31).

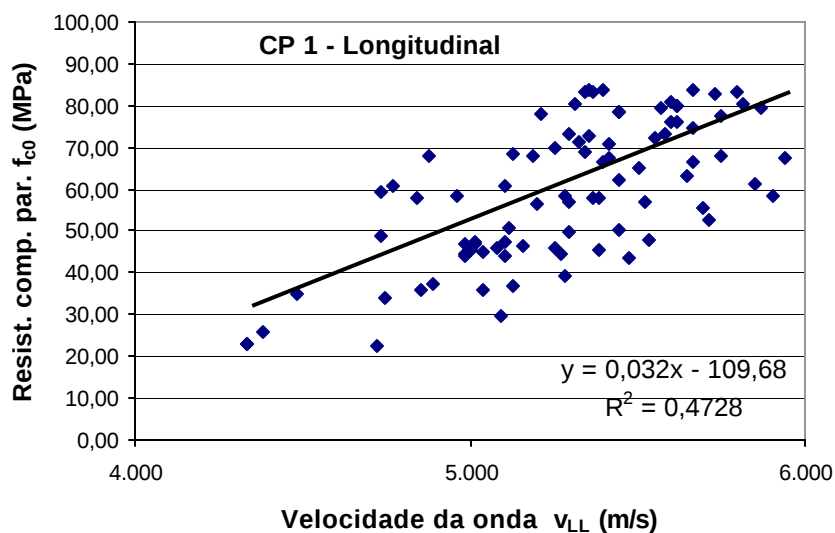


Figura 30 – Correlação entre a velocidade de propagação de ondas de ultra-som e a resistência à compressão paralela às fibras.

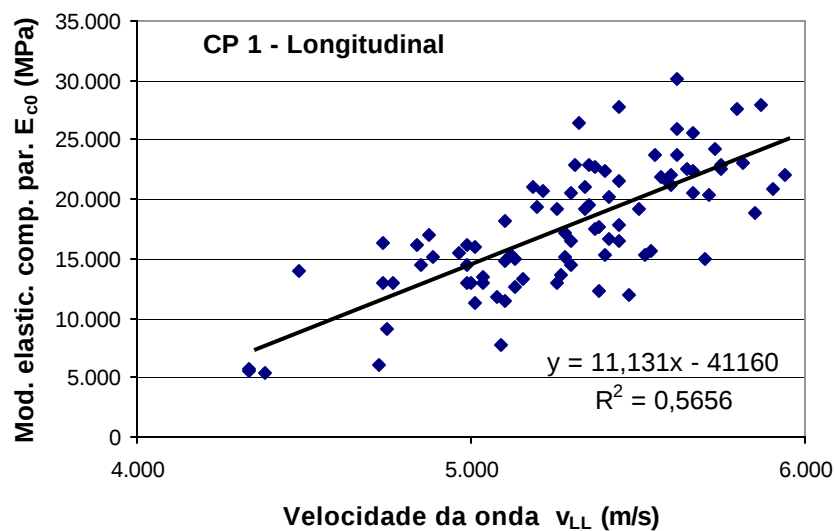


Figura 31 – Correlação entre a velocidade de propagação de ondas de ultra-som no corpo-de-prova e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras nos corpos-de-prova correspondentes.

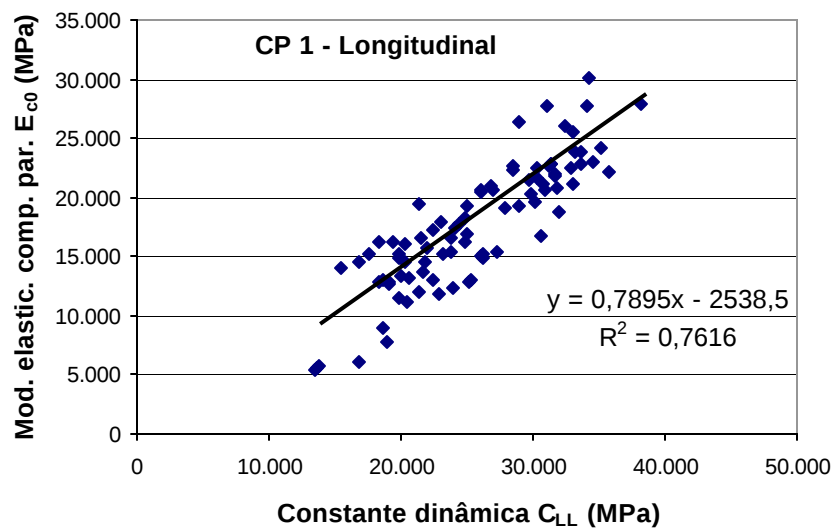


Figura 32 – Correlação entre a constante dinâmica C_{LL} e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras.

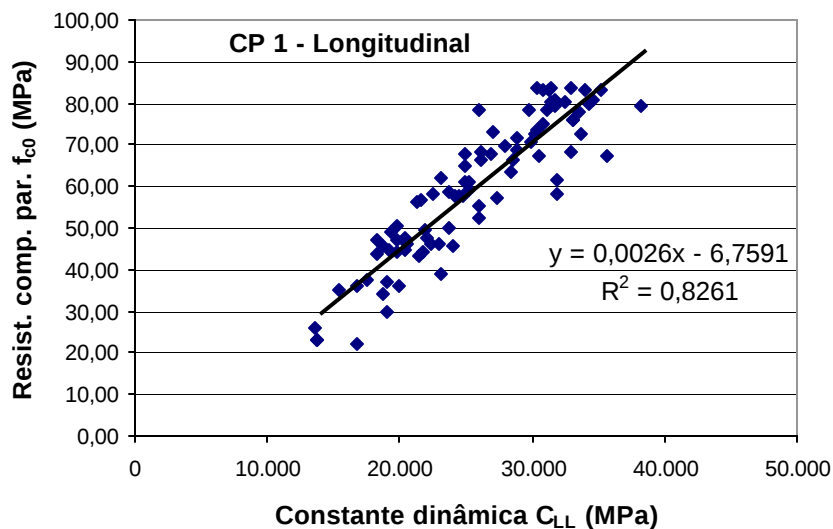


Figura 33 – Correlação entre a a constante dinâmica C_{LL} e a resistência à compressão paralela às fibras.

Apesar de todas as regressões apresentadas apresentarem resultados significativos, assumindo-se, convencionalmente, o valor limite do coeficiente de determinação da regressão como 70%, pode-se dizer que o método não-destrutivo do ultra-som é sensível na caracterização elástica e de resistência dos corpos-de-prova quando dele obtém-se a variável C_{LL} – constante dinâmica.

As Figuras 34 e 35 ilustram, respectivamente, as correlações obtidas entre os ensaios de ondas de tensão e de ultra-som nos segmentos e os módulos de elasticidade obtidos para os respectivos corpos-de-prova (média de dois corpos-de-prova, referentes às parcelas 1 e 2).

Os valores obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico pelo método das ondas de tensão mostraram-se numericamente mais próximos daqueles obtidos com o ensaio destrutivo de referência, quando comparados com aqueles relativos à constante dinâmica C_{LL} obtida no ensaio com ultra-som. Além disso, a regressão linear obtida para os ensaios com ondas de tensão apresentou um coeficiente de determinação mais elevado.

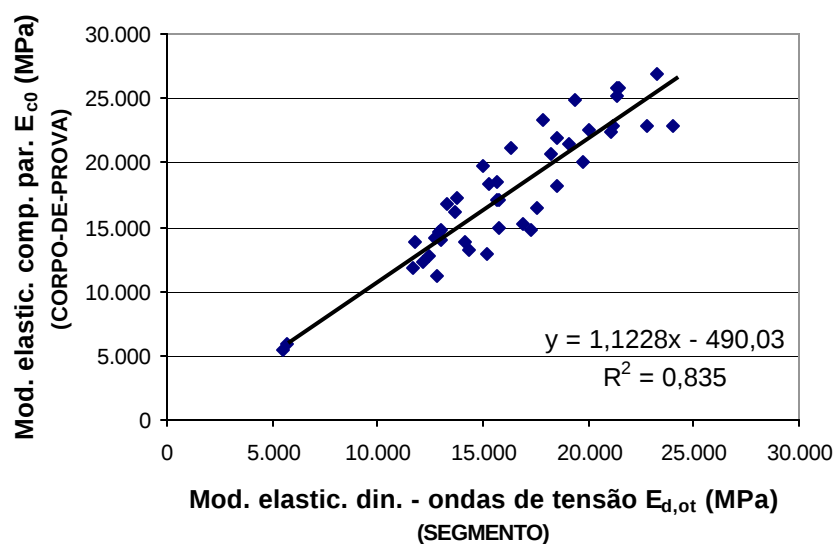


Figura 34 – Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico – ondas de tensão – obtido no segmento do dormente e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras nos corpos-de-prova correspondentes.

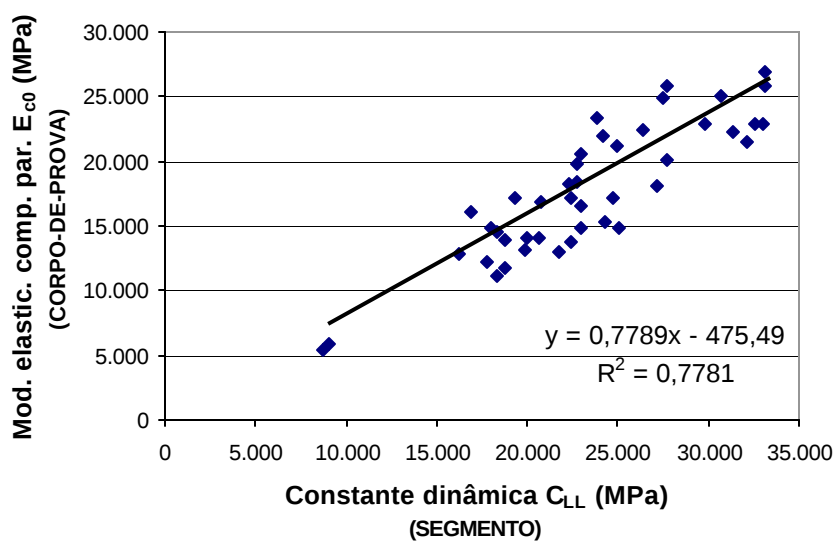


Figura 35 – Correlação entre a constante dinâmica C_{LL} obtida no segmento do dormente e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras nos corpos-de-prova correspondentes.

Nos dois casos tratados nas Figuras 34 e 35 pode-se afirmar que os métodos foram sensíveis na inferência do módulo de elasticidade do material.

6.3.3.2 Direção transversal

As Figuras 36 a 37 ilustram correlações obtidas entre variáveis dos ensaios não-destrutivos e dos ensaios destrutivos convencionais mensuradas na direção transversal às fibras.

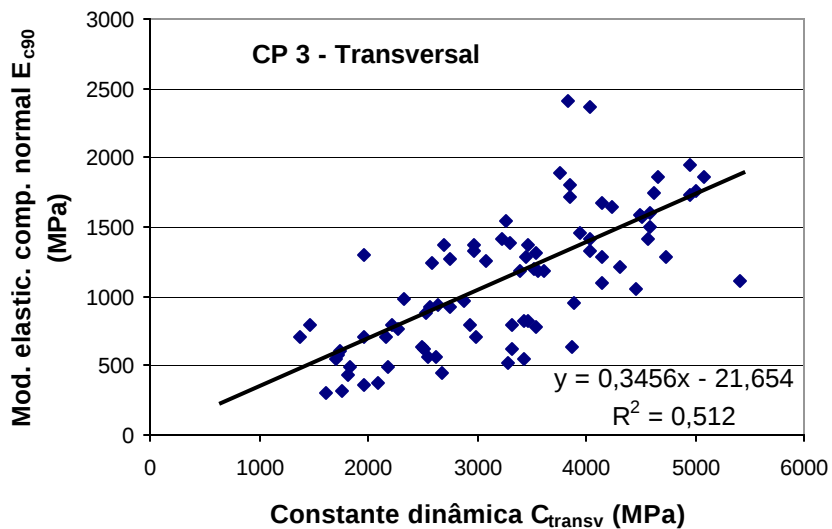


Figura 36 – Correlação entre a constante dinâmica C_{transv} e o módulo de elasticidade à compressão normal às fibras.

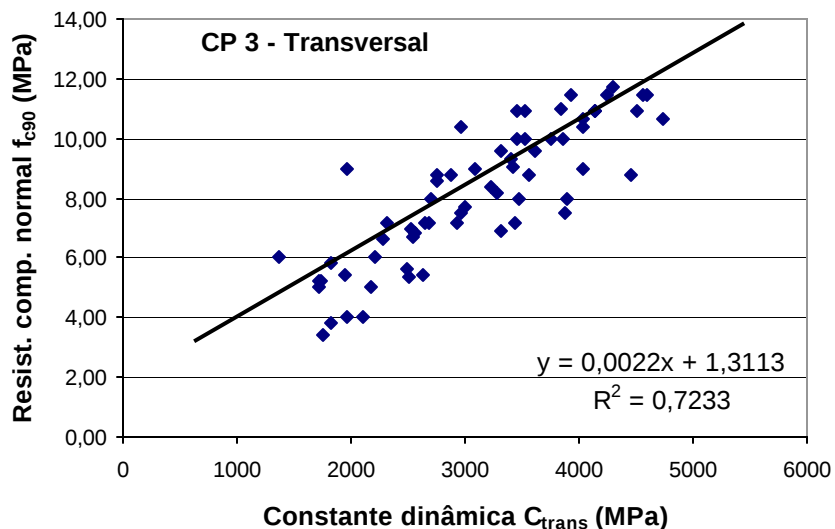


Figura 37 – Correlação entre a constante dinâmica C_{transv} e a resistência à compressão normal às fibras.

Os resultados obtidos, para os corpos-de-prova transversais (normais às fibras), evidenciam que as correlações melhores são obtidas quando as transmissões de ondas ocorrem na direção longitudinal (ao longo do comprimento do dormente).

7 CONCLUSÕES

Dentro dos condicionantes estabelecidos neste programa experimental, a conclusão principal obtida no trabalho é a de que os métodos não-destrutivos das ondas de tensão (*stress wave method*) e do ultra-som apresentam sensibilidade para a caracterização elástica — inferência do módulo de elasticidade da madeira — e de resistência — resistência à compressão paralela às fibras — dos grupos de madeira estudados. Os coeficientes de determinação das regressões lineares obtidas entre as principais variáveis dos ensaios não-destrutivos (velocidades de propagação de ondas e módulo ou constante dinâmica) e dos destrutivos convencionais (módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras) foram sempre superiores a 70%, abonando essa afirmativa.

A regressão linear com melhor coeficiente de determinação foi obtida entre o módulo de elasticidade dinâmico – ondas de tensão obtido no segmento do dormente e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras dos corpos-de-prova ($R^2=0,835$).

Para os dois métodos não-destrutivos estudados, nas transmissões de ondas na direção longitudinal (ao longo do comprimento do dormente), a despeito do fendilhamento de topo existente em algumas amostras inicialmente estudadas — segmento do dormente — não foram acusadas diferenças estatisticamente significativas entre medições feitas em diferentes pontos da seção transversal (foram feitas medições em dois pontos distintos da seção). A onda, nesse caso, é induzida em direção paralela à eventual fissura provocada pelo fendilhamento de topo.

Para o método do ultra-som, nas transmissões de ondas na direção transversal (ao longo da seção transversal do dormente), acusaram-se diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes pontos de avaliação do fenômeno, somente no caso do grupo da madeira de *E. citriodora*. As diferenças observadas foram entre um ponto próximo da extremidade do segmento do dormente (com alto potencial de apresentar fendilhamento) e um ponto mais ao centro do dormente, mostrando a susceptibilidade dessa transmissão quando realizada em região próxima aos topos da peça, local com alto potencial de fendilhamento.

Do ponto de vista prático, corroborando observações de outros pesquisadores internacionais, notou-se que o método do ultra-som é mais vantajoso para essa avaliação indireta dos parâmetros elásticos e de resistência das madeiras, sobretudo pela facilidade e rapidez de sua aplicação. O acoplamento dos transdutores às faces do material sob análise é simples e não requer nenhuma fixação. Essa vantagem se potencializa quando o ensaio não-destrutivo é imaginado como sendo uma ferramenta para avaliações do material em condições de campo.

Os itens seguintes apresentam conclusões particulares sobre cada um dos métodos estudados.

7.1 Método não-destrutivo das ondas de tensão

- a) As velocidades observadas ficaram entre 4000 m/s e 4350 m/s; na direção longitudinal, para as madeiras avaliadas,

- b) Os módulos de elasticidade dinâmicos obtidos a partir das velocidades das ondas tiveram as melhores correlações com o módulo de elasticidade dos corpos-de-prova ($R^2=0,835$).

7.2 Método não-destrutivo do ultra-som

- a) As velocidades de propagação das ondas de ultra-som na direção longitudinal situaram-se entre 4950m/s e 4500m/s, sendo os valores mais elevados de velocidade relativos ao grupo do Eucalipto citriodora;
- b) As velocidades de propagação de ondas na direção transversal ficaram entre 1600 m/s e 1900m/s;
- c) Na direção longitudinal, as constantes dinâmicas obtidas a partir das velocidades das ondas (C_{LL}) apresentaram boas correlações com o módulo de elasticidade dos corpos-de-prova ($R^2=0,762$) e com sua resistência ($R^2=0,826$).
- d) Na direção transversal, as constantes dinâmicas obtidas a partir das velocidades das ondas (C_{transv}) mostraram correlações boas somente com a resistência à compressão normal dos corpos-de-prova (f_{c90}).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7511: Dormentes de madeira*. Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 12 p.

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

ALIPPI, A; MAYER, W.G. (Eds). *Ultrasonic Methods in the Evaluation of Inhomogeneous Materials*, NATO ASI Ser. E: Applied Science nº 126. Martinus Nijhoff, Dordrecht. 1987.

ANDREUCCI;R. *Ensaio por ultra-som*, Aspectos Básicos, 2002, São Paulo (ABENDE)

AULD, B.A. *Acoustic Fields and Waves in Solids*. Vol. 1. Wilwy Interscience, New York. 1973.

BALLARIN, A.W. Desempenho mecânico de dormentes prismáticos de eucalipto citriodora (*E. citriodora*). Botucatu: FCA/UNESP, 1999. 204p. Tese (Livre-docência em Propriedades mecânicas e estruturas de madeira). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999.

BALLARIN, A.W., FRANCO, N., YOJO, T. *Calificación de maderas brasileñas nativas e de reforestaciones para durmientes*. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 1, 1998, Valdivia, Chile. *Actas ...* Valdivia: IUFRO, 1998. (editado em CD-ROM).

BALLARIN, A.W.; GONÇALVES, R., *Ensaio não-destrutivo aplicado aos produtos à base de madeira: a situação brasileira*. In: Congresso Nacional de Ensaio Não-Destrutivo, 20, 2001. São Paulo. *Anais...* São Paulo, SP. ABENDE, 2001. (editado em CD ROM).

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

BARTHOLOMEU, A. Classificação de Peças Estruturais de madeira através do Ultra-som. 105p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP. 2001.

BODIG, J. & JAYNE, B.A. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand reinhold, New york. 1993.

BRASHAW, B.K., ROSS, R.J., PELLERIN, R.F. Stress wave nondestructive evaluation of green veneer. In: International symposium on nondestructive testing of wood, 10, 1996, Lausanne. *Proceedings...* Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1996, p. 135-145.

BRINA, H.L. *Estradas de ferro: via permanente*. 2. ed.. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1988.

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

COLENCI, R.A. Qualificação mecânica de madeiras para uso como dormente ferroviário. Botucatu: FCA/UNESP, 2002. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2002.

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

GABRIEL, M.S.C. O uso do método das ondas de tensão na qualificação mecânica da madeira serrada de *Pinus taeda* L. Botucatu: FCA/UNESP, 2000. 94p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

GALLIGAN, W.L.; COURTEAU, R.W. Measurement of elasticity of lumber with longitudinal stress waves and the piezo-electric effect of wood. In: Nondestructive Testing of Wood Symposium, 2, 1965, Pullman, WA. Proceedings ... Pullman, WA: Washington State University, 1978. p. 223-244.

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

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

GOUGH, G. e BARNES, R.D. A compairison of three methods of wood density assessment in a *Pinus elliottii* progeny test. South African Journal, 128: 23-25, 1984

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

GOULET, M.; LAFOREST, P. Notes de cours sur la mécanique des bois SOB 17187.133p. Faculté de Foresterie et de Géomatique, Département des Sciences du Bois et de la Forêt, Université Laval, Québec, Canada, 1987.

GREEN, A.E; ZERNA, W. Theoretical Elasticity. Oxford University Press, Oxford. 1973.

HARRIS, C.M; CREDE, C.E. Shock and Vibration Hand Book. Vol.1. basic Theory and Measurements. McGraw-Hill, New York. 1961.

HEARMON, R.F.S. An Introduction to Applied Anisotropic Elasticity. Oxford University Press, Oxford. 1961

HERZING, 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, Canada. 1992.

HERNÁNDEZ, R; KOUBAA, A; BEAUDOIN, M.; FORTIN, Y. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science, vol 30, n2. 1998.

HEARMON, R.F.S. Theory of the vibration testing of wood. Forest Prod. J., Madison, v. 16, n.8, p. 29-40, 1966.

HOFFMEYER, P. The Pilodyn instrument as a non-destructive tester of shock resistance of wood, Washington, 1978. 21p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. *Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras amazônicas*. Brasília: IBAMA, 1993, Coleção Meio Ambiente – Série estudos floresta, n.º1.

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

KOCK, P., WOODSON, G.E. Laminating butt-jointed, log-run southern pine veneers into long beams of uniform high strength. *Forest Prod. J.*, Madison, v. 18, n.10, p. 45-51, 1968.

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

MUSGRAVE, M.P.J. *Crystal acoustics* Holden-Day, San Francisco. 1970.

NIEDERAUER, F.R. *Emprego da madeira de eucalipto como dormente*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 1, 1982, São Paulo. *Anais ...* São Paulo: Associação Brasileira de Preservadores de Madeira, 1982. p.203-32.

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

NOGUEIRA, M., Determinação de módulos de elasticidade a compressão da madeira de *Pinus taeda* L. com o uso de ultra-som. Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola - UNESP – Botucatu. 2003.

OLIVEIRA, F. G.R de SALES, A. Propagação de ondas acústicas na madeira. VII EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos, São Paulo, 12 a 14 de julho de 2000. CD-ROM.

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

REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A.. *Justificativa para elaboração de normas para dormentes de madeira* (EVA -15)- RFFSA, 1979. 175 p.

RONCA, P. Evaluation of actual ultimate strength in wooden structures by means of in situ penetration test. Brescia. 226-232, 1996.

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

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

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

SANDOZ, J. L. Moisture content and temperature effect on ultrasound timber grading. *Wood Science and Technology*. V.27, p.373-380, 1993.

SNOWDON, J.C. *Vibration and shock in Damped Mechanical Systems*. John Wiley & Sons, New York. 1968.

STEIGER, R. Mechanische Eigenschaften von Schweizer Fichten-Bauholz bei Biege-, Zug-, Druck- und kombinierter M/N Beanspruchung. 168p. Doktorarbeit in Technischen Wissenschaften – Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Zürich, Schweiz, 1996.

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

<http://embrapa.br/index.htm> 04/12/2001

<http://trensecia.2x.com.br/febras.html>. 04/11/2002

<http://www.catep.com.br/dicas/> 08/10/2002

<http://www.revistareferencia.com.br/reflorestamento/htm> 08/11/2002

<http://www.abende.org.br> 08/11/2002

APÊNDICE

Quadro A-1- Segmento de dormente - Grupo *Lauraceae* - Dados gerais e medições não destrutivas.

Primeira Etapa - Segmento de Dormente - Grupo <i>Lauraceae</i> .																						
Segmento	Ponto de Medição	Dimensões						Massa (g)	ρ (g/cm³)	Ondas de Tensão								Ultra-Som				
		Largura (cm)			Altura (cm)					Comp. (cm)	Tempo de propagação da onda (μs)						Dist Acel. (cm)	v _α (m/s)	E _{d,pt} (MPa)	t _{us} (μs)	v _{us} (m/s)	C _{LL} (MPa)
		a1	a2	am	b1	b2	bm				t1	t2	t3	t4	t5	tm,ot						
S1	S1-L1	7,50	7,50	7,50	13,00	12,50	12,75	63,50	4100	0,675	161	152	153	150	145	152	64,50	4238	12126	124	5129	17764
	S1-L2	7,50	7,50	7,50	13,00	12,50	12,75	63,50	4100	0,675	151	151	152	151	151	151	64,50	4266	12287	122	5222	18413
S2	S2-L1	9,00	8,50	8,75	12,00	12,00	12,00	67,50	5155	0,727	162	164	163	161	165	163	68,50	4202	12845	135	5015	18292
	S2-L2	9,00	8,50	8,75	12,00	12,00	12,00	67,50	5155	0,727	165	167	163	164	169	166	68,50	4136	12445	138	4902	17477
D3	D3-L1	7,50	8,00	7,75	11,00	12,50	11,75	66,50	4145	0,684	156	158	160	159	159	158	67,50	4261	12430	137	4872	16246
	D3-L2	7,50	8,00	7,75	11,00	12,50	11,75	66,50	4145	0,684	155	152	156	152	152	153	67,50	4400	13253	134	4970	16908
D4	D4-L1	8,00	8,00	8,00	12,50	12,50	12,50	65,00	4675	0,719	149	149	148	149	148	149	66,00	4441	14188	116	5589	22467
	D4-L2	8,00	8,00	8,00	12,50	12,50	12,50	65,00	4675	0,719	131	134	136	133	131	133	66,00	4962	17711	119	5471	21531
D6	D6-L1	8,50	8,50	8,50	12,00	13,00	12,50	65,50	5335	0,767	164	164	162	162	159	162	66,50	4100	12886	134	4895	18371
	D6-L2	8,50	8,50	8,50	12,00	13,00	12,50	65,50	5335	0,767	157	155	158	156	161	157	66,50	4225	13684	133	4943	18733
D7	D7-L1	8,00	8,00	8,00	13,00	12,00	12,50	69,50	4810	0,692	161	165	164	165	162	163	70,50	4315	12884	140	4971	17105
	D7-L2	8,00	8,00	8,00	13,00	12,00	12,50	69,50	4810	0,692	172	176	169	168	171	171	70,50	4118	11736	138	5025	17478
D10	D10-L1	9,00	9,50	9,25	11,50	11,50	11,50	68,00	5005	0,692	155	156	157	153	156	155	69,00	4440	13641	138	4938	16874
	D10-L2	9,00	9,50	9,25	11,50	11,50	11,50	68,00	5005	0,692	155	153	153	153	152	153	69,00	4504	14036	130	5247	19049
D11	D11-L1	7,50	7,50	7,50	12,50	14,00	13,25	67,50	4825	0,719	160	163	158	162	163	161	68,50	4249	12989	135	5007	18036
	D11-L2	7,50	7,50	7,50	12,50	14,00	13,25	67,50	4825	0,719	156	155	157	159	159	157	68,50	4358	13658	133	5071	18500
	Defeitos na madeira - partida da onda.																					
	Defeitos na madeira - chegada da onda.																					
	Defeitos na madeira - chegada e partida da onda.																					

Quadro A-2- Segmento de dormente - Grupo *Vochysiaceae* - Dados gerais e medições não-destrutivas.

Primeira Etapa - Segmento do Dormente - Grupo <i>Vochysiaceae</i> .																							
Segmento	Ponto de Medição	Dimensões						Massa	ρ	Ondas de Tensão							Ultra-Som						
		Largura (cm)			Altura (cm)					Comp. (cm)	Tempo de propagação da onda (μs)							Dist Acel. (cm)	V _{ot} (m/s)	E _{d,α} (MPa)	t _{us} (μs)	V _{us} (m/s)	C _{LL}
		a1	a2	a _m	b1	b2	b _m				t1	t2	t3	t4	t5	t _{m,ot}							
S3	S3-L1	8,50	8,50	8,50	13,00	12,00	12,50	67,00	4830	0,678	245	232	239	233	228	236	68,00	2886	5652	184	3649	9035	
	S3-L2	8,50	8,50	8,50	13,00	12,00	12,50	67,00	4830	0,678	258	257	251	248	250	253	68,00	2690	4909	197	3394	7816	
S4	S4-L1	8,00	8,50	8,25	11,50	12,50	12,00	68,00	5220	0,775	158	156	151	150	153	154	69,00	4492	15647	120	5648	24734	
	S4-L2	8,00	8,50	8,25	11,50	12,50	12,00	68,00	5220	0,775	163	157	156	160	158	159	69,00	4345	14639	124	5488	23356	
S5	S5-L1	8,00	7,00	7,50	11,50	10,50	11,00	65,00	4065	0,758	170	169	167	164	171	168	66,00	3924	11672	131	4969	18720	
	S5-L2	8,00	7,00	7,50	11,50	10,50	11,00	65,00	4065	0,758	162	160	164	159	161	161	66,00	4094	12707	129	5054	19366	
S6	S6-L1	8,00	8,00	8,00	12,00	12,00	12,00	66,50	5560	0,871	164	160	159	157	154	159	67,50	4251	15736	124	5367	25089	
	S6-L2	8,00	8,00	8,00	12,00	12,00	12,00	66,50	5560	0,871	161	158	151	151	154	155	67,50	4355	16517	124	5354	24968	
S7	S7-L1	8,00	8,00	8,00	12,00	13,00	12,50	64,00	4805	0,751	157	155	155	159	156	156	65,00	4156	12968	122	5242	20627	
	S7-L2	8,00	8,00	8,00	12,00	13,00	12,50	64,00	4805	0,751	158	155	152	153	151	154	65,00	4226	13410	120	5338	21391	
S8	S8-L1	8,00	9,00	8,50	11,00	11,50	11,25	67,50	4895	0,758	224	213	211	218	224	218	68,50	3142	7488	158	4261	13771	
	S8-L2	8,00	9,00	8,50	11,00	11,50	11,25	67,50	4895	0,758	228	222	219	216	280	233	68,50	2940	6555	163	4154	13085	
S9	S9-L1	8,00	7,50	7,75	12,00	11,50	11,75	67,50	4910	0,799	159	153	155	155	151	155	68,50	4431	15682	126	5340	22780	
	S9-L2	8,00	7,50	7,75	12,00	11,50	11,75	67,50	4910	0,799	168	172	163	157	165	165	68,50	4152	13767	128	5286	22318	
S10	S10-L1	7,50	7,50	7,50	12,00	12,00	12,00	64,50	3665	0,631	220	222	221	219	224	221	65,50	2961	5536	174	3713	8705	
	S10-L2	7,50	7,50	7,50	12,00	12,00	12,00	64,50	3665	0,631	220	225	214	224	224	221	65,50	2958	5526	174	3703	8656	
S11	S11-L1	8,00	8,00	8,00	10,00	10,00	10,00	70,00	4290	0,766	166	165	169	169	169	168	71,00	4236	13748	138	5091	19855	
	S11-L2	8,00	8,00	8,00	10,00	10,00	10,00	70,00	4290	0,766	167	164	164	163	164	164	71,00	4319	14288	135	5204	20750	
S12	S12-L1	6,50	6,50	6,50	11,00	11,50	11,25	65,00	3495	0,735	164	167	160	168	165	165	66,00	4005	11793	129	5047	18727	
	S12-L2	6,50	6,50	6,50	11,00	11,50	11,25	65,00	3495	0,735	158	161	160	150	160	158	66,00	4183	12863	126	5171	19662	
D1	D1-L1	8,00	8,50	8,25	12,50	13,00	12,75	68,00	5615	0,785	159	153	158	158	153	156	69,00	4417	15318	128	5329	22294	
	D1-L2	8,00	8,50	8,25	12,50	13,00	12,75	68,00	5615	0,785	168	164	165	168	166	166	69,00	4152	13530	129	5284	21915	
D2	D2-L1	8,00	8,50	8,25	12,00	12,00	12,00	65,00	4720	0,733	156	160	158	158	160	158	66,00	4167	12734	125	5213	19929	
	D2-L2	8,00	8,50	8,25	12,00	12,00	12,00	65,00	4720	0,733	158	159	158	156	157	158	66,00	4188	12864	125	5192	19770	
D8	D8-L1	7,50	7,50	7,50	12,50	11,50	12,00	70,00	4620	0,733	156	158	162	163	164	161	71,00	4421	14333	135	5201	19834	
	D8-L2	7,50	7,50	7,50	12,50	11,50	12,00	70,00	4620	0,733	155	160	163	155	160	159	71,00	4477	14696	137	5121	19229	
D9	D9-L1	7,50	7,50	7,50	13,00	14,00	13,50	68,00	6220	0,903	158	164	156	161	158	159	69,00	4329	16928	131	5191	24342	
	D9-L2	7,50	7,50	7,50	13,00	14,00	13,50	68,00	6220	0,903	171	160	160	162	166	164	69,00	4212	16031	129	5259	24987	
D12	D12-L1	8,00	8,00	8,00	12,50	13,00	12,75	66,50	4595	0,677	149	148	151	147	154	150	67,50	4506	13755	124	5346	19358	
	D12-L2	8,00	8,00	8,00	12,50	13,00	12,75	66,50	4595	0,677	152	148	150	149	143	148	67,50	4549	14015	126	5278	18870	

	Defeitos na madeira - partida da onda.
	Defeitos na madeira - chegada da onda.
	Defeitos na madeira - chegada e partida da onda.

Quadro A-3- Segmento de dormente - Grupo *Eucalypto citriodora* -Dados gerais e medições não-destrutivas.

Primeira Etapa - Segmento de Dormente - Grupo <i>Eucalypto citriodora</i> .																						
Segmento	Ponto de Medição	Dimensões							Massa (g)	ρ (g/cm³)	Ondas de Tensão							Ultra-Som				
		Largura (cm)			Altura (cm)			Comp. (cm)			Tempo de propagação da onda (μs)					Dist Acel. (cm)	v _{ot} (m/s)	E _{d,ot} (MPa)	t _u (μs)	v _{uS} (m/s)	C _{LL} (MPa)	
		a1	a2	a _m	b1	b2	b _m				t1	t2	t3	t4	t5							t _{m,ot}
E1	E1-L1	8,50	8,50	8,50	15,00	15,00	15,00	69,50	9535	1,076	175	174	172	172	172	173	70,50	4075	17869	148	4712	23890
	E1-L2	8,50	8,50	8,50	15,00	15,00	15,00	69,50	9535	1,076	189	180	192	194	189	189	70,50	3734	15004	149	4661	23380
E2	E2-L1	9,00	9,00	9,00	14,00	14,00	14,00	78,00	8970	0,913	212	215	205	203	199	207	79,00	3820	13319	164	4771	20772
	E2-L2	9,00	9,00	9,00	14,00	14,00	14,00	78,00	8970	0,913	215	200	194	199	201	202	79,00	3915	13987	160	4866	21610
E3	E3-L1	7,50	7,50	7,50	13,00	13,00	13,00	79,00	8025	1,042	186	187	180	182	184	184	80,00	4353	19738	153	5153	27668
	E3-L2	7,50	7,50	7,50	13,00	13,00	13,00	79,00	8025	1,042	175	178	174	181	173	176	80,00	4540	21477	146	5407	30463
E4	E4-L1	8,00	8,00	8,00	11,50	13,00	12,25	77,50	7405	0,975	184	177	185	180	174	180	78,50	4361	18543	147	5279	27174
	E4-L2	8,00	8,00	8,00	11,50	13,00	12,25	77,50	7405	0,975	183	184	188	199	193	189	78,50	4145	16749	146	5326	27661
E5	E5-L1	8,50	8,50	8,50	12,50	11,00	11,75	68,50	7115	1,040	177	178	176	177	170	176	69,50	3958	16291	140	4900	24969
	E5-L2	8,50	8,50	8,50	12,50	11,00	11,75	68,50	7115	1,040	179	175	175	168	167	173	69,50	4022	16823	143	4804	23998
E6	E6-L1	7,50	7,50	7,50	13,00	12,50	12,75	80,00	6630	0,867	169	175	169	163	167	169	81,00	4804	20004	145	5517	26381
	E6-L2	7,50	7,50	7,50	13,00	12,50	12,75	80,00	6630	0,867	179	183	185	180	179	181	81,00	4470	17318	150	5326	24586
E7	E7-L1	7,50	7,00	7,25	12,50	14,00	13,25	79,00	7785	1,026	170	181	181	171	174	175	80,00	4561	21340	144	5475	30747
	E7-L2	7,50	7,00	7,25	12,50	14,00	13,25	79,00	7785	1,026	181	177	171	168	176	175	80,00	4582	21536	144	5501	31047
E8	E8-L1	8,00	8,00	8,00	14,00	14,50	14,25	68,50	7935	1,016	173	168	161	171	162	167	69,50	4162	17599	144	4754	22962
	E8-L2	8,00	8,00	8,00	14,00	14,50	14,25	68,50	7935	1,016	168	171	159	159	160	163	69,50	4253	18383	139	4921	24607
E10	E01-L1	7,50	8,00	7,75	12,50	13,00	12,75	79,00	7745	0,992	178	176	176	165	167	172	80,00	4640	21364	137	5779	33136
	E10-L2	7,50	8,00	7,75	12,50	13,00	12,75	79,00	7745	0,992	178	171	170	167	166	170	80,00	4695	21869	143	5536	30408
E11	E11-L1	8,50	9,00	8,75	15,00	15,00	15,00	69,00	9710	1,072	185	181	178	185	183	182	70,00	3838	15791	151	4567	22358
	E11-L2	8,50	9,00	8,75	15,00	15,00	15,00	69,00	9710	1,072	182	183	184	183	181	183	70,00	3834	15757	152	4551	22211
E12	E12-L1	8,50	8,50	8,50	13,00	13,50	13,25	79,50	9075	1,014	162	168	163	172	162	165	80,50	4867	24009	140	5670	32590
	E12-L2	8,50	8,50	8,50	13,00	13,50	13,25	79,50	9075	1,014	173	165	169	168	169	169	80,50	4769	23051	144	5509	30764
E13	E13-L1	7,50	8,00	7,75	14,00	13,50	13,75	68,50	7420	1,017	176	188	184	178	178	181	69,50	3844	15020	145	4734	22780
	E13-L2	7,50	8,00	7,75	14,00	13,50	13,75	68,50	7420	1,017	183	174	174	173	169	175	69,50	3981	16106	143	4794	23357

Quadro A-3 (Cont.) Segmento de dormente - Grupo *Eucalypto citriodora*- Dados gerais e medições não-destrutivas.

Primeira Etapa - Segmento de Dormente - Grupo <i>Eucalypto citriodora</i> .																							
Segmento	Ponto de Medição	Dimensões							Massa (g)	ρ (g/cm³)	Ondas de Tensão										Ultra-Som		
		Largura (cm)			Altura (cm)			Comp. (cm)			Tempo de propagação da onda (μs)						Dist Acel. (cm)	v _{ot} (m/s)	E _{d,ot} (MPa)	t _u (μs)	v _{u,s} (m/s)	C _{LL} (MPa)	
		a1	a2	am	b1	b2	bm				t1	t2	t3	t4	t5	t _{m,ot}							
E14	E14-L1	8,50	8,00	8,25	11,50	12,00	11,75	69,00	7550	1,129	162	163	159	159	159	160	70,00	4364	21498	139	4957	27735	
	E14-L2	8,50	8,00	8,25	11,50	12,00	11,75	69,00	7550	1,129	171	165	162	164	163	165	70,00	4242	20316	141	4883	26917	
E15	E15-L1	8,50	8,50	8,50	12,00	12,50	12,25	67,50	8020	1,141	168	168	169	165	161	166	68,50	4122	19384	138	4906	27459	
	E15-L2	8,50	8,50	8,50	12,00	12,50	12,25	67,50	8020	1,141	166	160	164	157	155	160	68,50	4271	20811	135	4985	28359	
E16	E16-L1	7,50	7,50	7,50	12,50	12,50	12,50	78,00	7570	1,035	183	189	181	181	186	184	79,00	4293	19083	140	5571	32134	
	E16-L2	7,50	7,50	7,50	12,50	12,50	12,50	78,00	7570	1,035	182	178	173	168	167	174	79,00	4551	21438	151	5152	27477	
E17	E17-L1	6,50	6,50	6,50	10,00	10,50	10,25	80,00	5380	1,009	178	170	170	168	166	170	81,00	4754	22808	140	5722	33054	
	E17-L2	6,50	6,50	6,50	10,00	10,50	10,25	80,00	5380	1,009	178	178	173	172	173	175	81,00	4634	21674	147	5450	29977	
E18	E18-L1	8,00	8,50	8,25	14,50	14,50	14,50	79,50	10090	1,061	177	166	174	177	166	172	80,50	4680	23240	142	5587	33115	
	E18-L2	8,50	8,50	8,50	14,50	14,50	14,50	79,50	10090	1,030	168	170	159	158	159	163	80,50	4945	25178	143	5575	32006	
E19	E19-L1	8,00	8,00	8,00	14,00	14,00	14,00	80,00	9210	1,028	220	213	207	209	206	211	81,00	3839	15148	174	4598	21729	
	E19-L2	8,00	8,00	8,00	14,00	14,00	14,00	80,00	9210	1,028	216	213	201	203	215	210	81,00	3865	15351	171	4689	22603	
E20	E20-L1	8,00	8,00	8,00	11,50	11,50	11,50	69,00	6325	0,996	155	171	166	161	165	164	70,00	4279	18241	144	4798	22941	
	E20-L2	8,00	8,00	8,00	11,50	11,50	11,50	69,00	6325	0,996	170	169	164	163	163	166	70,00	4222	17760	138	5000	24909	
E21	E21-L1	8,50	8,00	8,25	14,50	14,00	14,25	81,00	8195	0,861	185	183	184	185	179	183	82,00	4476	17241	157	5169	22995	
	E21-L2	8,50	8,00	8,25	14,50	14,00	14,25	81,00	8195	0,861	177	172	170	174	170	173	82,00	4751	19424	148	5473	25778	
E22	E22-L1	9,00	8,50	8,75	14,00	14,00	14,00	69,50	9630	1,131	172	173	179	171	176	174	70,50	4047	18526	150	4627	24218	
	E22-L2	9,00	8,50	8,75	14,00	14,00	14,00	69,50	9630	1,131	193	185	183	188	190	188	70,50	3754	15940	166	4177	19732	
E23	E23-L1	8,00	8,50	8,25	15,00	15,00	15,00	80,50	9260	0,930	170	180	168	166	171	171	81,50	4766	21115	139	5808	31357	
	E23-L2	8,00	8,50	8,25	15,00	15,00	15,00	80,50	9260	0,930	180	175	179	172	168	175	81,50	4662	20207	148	5443	27538	
E24	E24-L1	8,00	8,50	8,25	13,00	14,00	13,50	80,00	9385	1,053	182	180	182	179	181	181	81,00	4480	21141	150	5319	29802	
	E24-L2	8,00	8,50	8,25	13,00	14,00	13,50	80,00	9385	1,053	182	177	175	171	173	176	81,00	4613	22412	150	5344	30081	

	Defeitos na madeira - partida da onda.
	Defeitos na madeira - chegada da onda.
	Defeitos na madeira - chegada e partida da onda.

Quadro A-4 -Parcela de dormente - Grupo *Lauraceae* – Dados gerais e medições não-destrutivas. Direção Longitudinal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormente - Direção Longitudinal - Grupo <i>Lauraceae</i> .													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões							Massa (g)	ρ (g/cm³)	Ultra-Som		
		Largura (cm)			Altura (cm)			Comp. (cm)			t _{us} (μs)	v _{us} (m/s)	C _{LL} (MPa)
		a1	a2	am	b1	b2	bm						
S1-1	S1-1-L1	4,93	4,97	4,95	12,50	12,50	12,50	25,0	1058	0,684	50	5020	17244
S1-2	S1-2-L1	4,94	4,92	4,93	12,90	13,00	12,95	25,0	1109	0,695	49	5061	17792
S2-1	S2-1-L1	4,99	4,99	4,99	12,00	11,80	11,90	25,0	1135	0,765	50	5051	19520
S2-2	S2-2-L1	4,98	4,98	4,98	12,00	12,10	12,05	25,0	1167	0,777	51	4902	18683
D3-1	D3-1-L1	4,88	4,99	4,93	11,50	12,00	11,75	25,0	1063	0,734	50	5020	18496
D3-2	D3-2-L1	4,97	4,91	4,94	11,00	11,40	11,20	25,0	977	0,706	48	5219	19229
D4-1	D4-1-L1	4,98	4,97	4,97	13,10	13,10	13,10	25,0	1158	0,711	45	5580	22154
D4-2	D4-2-L1	4,97	4,97	4,97	12,80	13,20	13,00	25,0	1190	0,736	46	5459	21937
D6-1	D6-1-L1	4,94	4,95	4,95	12,40	12,70	12,55	25,0	1249	0,805	53	4699	17779
D6-2	D6-2-L1	4,96	4,96	4,96	12,60	12,50	12,55	25,0	1188	0,764	52	4826	17790
D7-1	D7-1-L1	4,99	4,97	4,98	12,00	11,80	11,90	25,0	1131	0,764	51	4883	18211
D7-2	D7-2-L1	4,94	4,94	4,94	12,10	12,40	12,25	25,0	1171	0,774	51	4941	18905
D10-1	D10-1-L1	4,98	4,99	4,98	11,70	11,60	11,65	25,0	1059	0,729	51	4912	17594
D10-2	D10-2-L1	4,92	4,95	4,93	11,90	11,80	11,85	25,0	1115	0,763	52	4808	17632
D11-1	D11-1-L1	4,96	4,97	4,97	12,80	12,80	12,80	25,0	1271	0,800	50	4990	19912
D11-2	D11-2-L1	4,95	4,96	4,96	12,00	12,30	12,15	25,0	1191	0,791	51	4950	19379

Quadro A-5 -Parcela de dormiente - Grupo *Vochysiaceae* – Dados gerais e medições não-destrutivas. Direção Longitudinal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormiente - Direção Longitudinal - Grupo <i>Vochysiaceae</i> .													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões						Comp. (cm)	Massa (g)	ρ (g/cm ³)	Ultra-Som		
		Largura (cm)			Altura (cm)						t _{US} (μs)	v _{US} (m/s)	C _{LL} (MPa)
		a1	a2	am	b1	b2	bm						
S3-1	S3-1-L1	4,93	4,88	4,91	12,00	12,00	12,00	25,0	1087	0,738	58	4340	13903
S3-2	S3-2-L1	4,96	4,97	4,96	12,10	12,30	12,20	25,0	1088	0,719	60	4174	12525
S4-1	S4-1-L1	4,89	4,94	4,92	12,00	11,50	11,75	25,0	1162	0,804	45	5593	25148
S4-2	S4-2-L1	4,92	4,90	4,91	12,20	12,00	12,10	25,0	1213	0,816	44	5708	26584
S5-1	S5-1-L1	4,92	4,94	4,93	10,60	10,50	10,55	25,0	1079	0,831	50	5030	21018
S5-2	S5-2-L1	4,95	4,96	4,95	10,60	17,90	14,25	25,0	1110	0,629	52	4845	14771
S6-1	S6-1-L1	4,95	4,93	4,94	11,70	11,90	11,80	25,0	1257	0,863	46	5447	25588
S6-2	S6-2-L1	4,92	4,97	4,95	11,60	11,60	11,60	25,0	1223	0,852	46	5435	25169
S7-1	S7-1-L1	4,83	4,80	4,81	12,20	12,50	12,35	25,0	1190	0,801	47	5297	22462
S7-2	S7-2-L1	4,94	4,94	4,94	12,00	11,90	11,95	25,0	1147	0,777	47	5365	22367
S8-1	S8-1-L1	4,84	4,88	4,86	11,60	11,70	11,65	25,0	1099	0,776	52	4854	18298
S8-2	S8-2-L1	4,87	4,87	4,87	11,60	11,00	11,30	25,0	1101	0,800	52	4836	18710
S9-1	S9-1-L1	4,95	4,97	4,96	11,70	11,70	11,70	25,0	1140	0,787	46	5459	23435
S9-2	S9-2-L1	4,94	4,94	4,94	11,50	11,50	11,50	25,0	1129	0,795	44	5747	26266
S10-1	S10-1-L1	4,94	4,97	4,96	11,60	11,60	11,60	25,0	1009	0,701	57	4417	13684
S10-2	S10-2-L1	4,95	4,97	4,96	11,50	11,60	11,55	25,0	1017	0,710	56	4480	14247
S11-1	S11-1-L1	4,96	4,83	4,90	9,50	10,00	9,75	25,0	978	0,820	49	5155	21779
S11-2	S11-2-L1	4,97	4,90	4,94	10,00	9,90	9,95	25,0	980	0,798	49	5133	21016
S12-1	S12-1-L1	4,86	4,87	4,86	11,70	11,70	11,70	25,0	1030	0,724	49	5071	18617
S12-2	S12-2-L1	4,91	4,92	4,92	11,00	11,10	11,05	25,0	1038	0,765	49	5102	19902
D1-1	D1-1-L1	4,91	4,92	4,91	12,40	12,30	12,35	25,0	1229	0,810	46	5435	23928
D1-2	D1-2-L1	4,94	4,93	4,93	12,90	12,60	12,75	25,0	1254	0,797	47	5376	23047
D2-1	D2-1-L1	4,88	4,98	4,93	12,00	12,00	12,00	25,0	1141	0,772	48	5241	21206
D2-2	D2-2-L1	4,88	4,88	4,88	11,90	12,00	11,95	25,0	1123	0,770	48	5252	21234
D8-1	D8-1-L1	4,95	5,00	4,97	12,00	11,90	11,95	25,0	1168	0,786	48	5208	21323
D8-2	D8-2-L1	4,88	4,93	4,91	11,30	11,60	11,45	25,0	1116	0,795	47	5330	22582
D9-1	D9-1-L1	4,95	4,97	4,96	13,60	13,80	13,70	25,0	1563	0,920	47	5297	25802
D9-2	D9-2-L1	4,94	4,94	4,94	13,40	13,60	13,50	25,0	1522	0,913	46	5423	26855
D12-1	D12-1-L1	4,96	4,93	4,94	12,00	12,20	12,10	25,0	1156	0,773	46	5423	22726
D12-2	D12-2-L1	4,91	4,94	4,93	12,20	12,40	12,30	25,0	1197	0,790	46	5400	23039

Quadro A-6 -Parcela de dormente - Grupo *Eucalipto citriodora* - Dados gerais e medições não-destrutivas. Direção Longitudinal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormente - Direção Longitudinal - Grupo <i>Eucalipto Citriodora</i> .													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões							Massa (g)	ρ (g/cm ³)	Ultra-Som		
		Largura (cm)			Altura (cm)			Comp. (cm)			t _{us} (μs)	v _{us} (m/s)	C _{LL} (MPa)
		a1	a2	a _m	b1	b2	b _m						
E1-1	E1-1-L1	4,96	4,98	4,97	15,00	14,90	14,95	25,0	1896	1,02	46	5400	29772
E1-2	E1-2-L1	4,91	4,91	4,91	14,60	14,70	14,65	25,0	1900	1,06	46	5400	30793
E2-1	E2-1-L1	4,94	4,96	4,95	13,80	14,00	13,90	25,0	1662	0,97	49	5112	25242
E2-2	E2-2-L1	4,97	4,98	4,97	14,00	13,70	13,85	25,0	1706	0,99	52	4808	22894
E3-1	E3-1-L1	4,95	4,98	4,96	13,00	12,90	12,95	25,0	1639	1,02	48	5165	27208
E3-2	E3-2-L1	4,91	4,93	4,92	13,00	13,00	13,00	25,0	1646	1,03	48	5219	28038
E4-1	E4-1-L1	4,93	4,93	4,93	12,00	12,30	12,15	25,0	1607	1,07	47	5330	30500
E4-2	E4-2-L1	4,97	4,99	4,98	11,80	11,20	11,50	25,0	1541	1,08	48	5252	29706
E5-1	E5-1-L1	4,94	4,91	4,93	11,60	11,60	11,60	25,0	1295	0,91	44	5631	28746
E5-2	E5-2-L1	4,94	4,97	4,96	11,00	11,80	11,40	25,0	1380	0,98	44	5656	31250
E6-1	E6-1-L1	4,93	4,94	4,93	12,60	12,70	12,65	25,0	1419	0,91	44	5682	29361
E6-2	E6-2-L1	4,96	4,95	4,96	12,80	12,80	12,80	25,0	1432	0,90	45	5605	28355
E7-1	E7-1-L1	4,93	4,91	4,92	13,20	13,20	13,20	25,0	1658	1,02	45	5543	31387
E7-2	E7-2-L1	4,93	4,95	4,94	13,10	13,00	13,05	25,0	1731	1,07	46	5470	32163
E8-1	E8-1-L1	4,91	4,95	4,93	14,30	14,30	14,30	25,0	1836	1,04	51	4902	25014
E8-2	E8-2-L1	4,91	4,92	4,92	14,30	14,40	14,35	25,0	1827	1,04	54	4630	22208
E10-1	E10-1-L1	4,97	4,95	4,96	12,20	12,00	12,10	25,0	1656	1,10	43	5882	38191
E10-2	E10-2-L1	4,95	4,94	4,95	12,10	12,20	12,15	25,0	1642	1,09	43	5774	36416
E11-1	E11-1-L1	4,97	4,94	4,95	14,90	15,00	14,95	25,0	1799	0,97	47	5319	27488
E11-2	E11-2-L1	4,91	4,88	4,89	15,00	15,00	15,00	25,0	1850	1,01	47	5308	28397
E12-1	E12-1-L1	4,95	4,97	4,96	13,60	13,50	13,55	25,0	1801	1,07	44	5643	34137
E12-2	E12-2-L1	4,93	4,96	4,95	13,50	13,90	13,70	25,0	1805	1,07	45	5618	33614
E13-1	E13-1-L1	4,95	4,90	4,93	13,40	13,50	13,45	25,0	1550	0,94	43	5787	31338
E13-2	E13-2-L1	4,96	4,96	4,96	13,30	13,40	13,35	25,0	1555	0,94	44	5734	30887

Quadro A-6 (Cont.)-Parcela de dormente – Grupo *Eucalipto citriodora* - Dados gerais e medições não-destrutivas.

Direção Longitudinal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormente - Direção Longitudinal - Grupo <i>Eucalipto citriodora</i> .													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões							Massa (g)	ρ (g/cm³)	Ultra-Som		
		Largura (cm)			Altura (cm)			Comp. (cm)			t _{us} (μs)	v _{us} (m/s)	C _{LL} (MPa)
		a1	a2	am	b1	b2	bm						
E14-1	E14-1-L1	4,94	4,91	4,92	12,00	12,20	12,10	25,0	1446	0,97	44	5695	31471
E14-2	E14-2-L1	4,92	4,93	4,92	12,20	12,20	12,20	25,0	1469	0,98	44	5643	31159
E15-1	E15-1-L1	5,02	4,96	4,99	12,90	13,00	12,95	25,0	1617	1,00	43	5787	33537
E15-2	E15-2-L1	4,94	4,95	4,94	12,90	12,90	12,90	25,0	1633	1,02	45	5519	31210
E16-1	E16-1-L1	4,95	4,96	4,95	12,60	12,60	12,60	25,0	1559	1,00	44	5631	31687
E16-2	E16-2-L1	4,94	4,98	4,96	12,50	12,80	12,65	25,0	1621	1,03	46	5482	31085
E17-1	E17-1-L1	4,98	4,92	4,95	10,30	10,40	10,35	25,0	1286	1,00	42	5938	35412
E17-2	E17-2-L1	4,93	4,92	4,92	10,40	10,40	10,40	25,0	1296	1,01	43	5828	34374
E18-1	E18-1-L1	4,91	4,93	4,92	14,90	15,00	14,95	25,0	1910	1,04	44	5631	32941
E18-2	E18-2-L1	4,96	4,97	4,96	15,90	15,00	15,45	25,0	1990	1,04	47	5376	30002
E19-1	E19-1-L1	4,96	4,96	4,96	13,60	13,50	13,55	25,0	1907	1,14	52	4780	25936
E19-2	E19-2-L1	4,93	4,94	4,94	14,90	14,00	14,45	25,0	1973	1,11	53	4682	24246
E20-1	E20-1-L1	4,94	4,95	4,95	11,70	11,50	11,60	25,0	1339	0,93	46	5470	27933
E20-2	E20-2-L1	4,95	4,96	4,95	11,00	10,90	10,95	25,0	1332	0,98	46	5435	29014
E21-1	E21-1-L1	4,98	4,96	4,97	14,10	14,10	14,10	25,0	1550	0,89	46	5388	25694
E21-2	E21-2-L1	4,93	4,91	4,92	13,80	14,00	13,90	25,0	1601	0,94	49	5112	24483
E22-1	E22-1-L1	4,96	4,97	4,96	14,00	14,20	14,10	25,0	1777	1,02	47	5376	29365
E22-2	E22-2-L1	4,98	4,95	4,97	14,10	14,00	14,05	25,0	1841	1,06	47	5330	29999
E23-1	E23-1-L1	4,91	4,92	4,91	15,00	15,00	15,00	25,0	1832	0,99	42	5967	35400
E23-2	E23-2-L1	4,92	4,96	4,94	14,90	14,70	14,80	25,0	1831	1,00	43	5869	34534
E24-1	E24-1-L1	4,96	4,94	4,95	13,60	13,70	13,65	25,0	1856	1,10	47	5274	30579
E24-2	E24-2-L1	4,93	4,95	4,94	13,60	13,60	13,60	25,0	1868	1,11	48	5252	30696

Quadro A-7 -Parcela de dormente - Grupo *Lauraceae* – Dados gerais e medições não-destrutivas. Direção Transversal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormente - Direção transversal - Grupo <i>Lauraceae</i> .													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões							Massa (g)	ρ (g/cm ³)	Ultra-Som		
		Largura (cm)			Altura (cm)			Comp. (cm)			t _{us} (μs)	v _{us} (m/s)	C _{transv.} (MPa)
		a1	a2	am	b1	b2	bm						
S1-1	S1-1-T1	4,93	4,97	4,95	12,50	12,50	12,50	25,0	1058	0,684	114	1100	828
S1-2	S1-2-T1	4,94	4,92	4,93	12,90	13,00	12,95	25,0	1109	0,695	82	1572	1716
S2-1	S2-1-T1	4,99	4,99	4,99	12,00	11,80	11,90	25,0	1135	0,765	76	1568	1881
S2-2	S2-2-T1	4,98	4,98	4,98	12,00	12,10	12,05	25,0	1167	0,777	73	1660	2142
D3-1	D3-1-T1	4,88	4,99	4,93	11,50	12,00	11,75	25,0	1063	0,734	64	1842	2489
D3-2	D3-2-T1	4,97	4,91	4,94	11,00	11,40	11,20	25,0	977	0,706	112	1004	711
D4-1	D4-1-T1	4,98	4,97	4,97	13,10	13,10	13,10	25,0	1158	0,711	83	1588	1794
D4-2	D4-2-T1	4,97	4,97	4,97	12,80	13,20	13,00	25,0	1190	0,736	72	1818	2434
D6-1	D6-1-T1	4,94	4,95	4,95	12,40	12,70	12,55	25,0	1249	0,805	76	1651	2195
D6-2	D6-2-T1	4,96	4,96	4,96	12,60	12,50	12,55	25,0	1188	0,764	79	1593	1937
D7-1	D7-1-T1	4,99	4,97	4,98	12,00	11,80	11,90	25,0	1131	0,764	64	1865	2657
D7-2	D7-2-T1	4,94	4,94	4,94	12,10	12,40	12,25	25,0	1171	0,774	70	1760	2399
D10-1	D10-1-T1	4,98	4,99	4,98	11,70	11,60	11,65	25,0	1059	0,729	59	1965	2815
D10-2	D10-2-T1	4,92	4,95	4,93	11,90	11,80	11,85	25,0	1115	0,763	64	1857	2632
D11-1	D11-1-T1	4,96	4,97	4,97	12,80	12,80	12,80	25,0	1271	0,800	82	1561	1948
D11-2	D11-2-T1	4,95	4,96	4,96	12,00	12,30	12,15	25,0	1191	0,791	91	1329	1397

Quadro A-8 -Parcela de dormente - Grupo *Vochysiaceae* – Dados gerais e medições não-destrutivas.

Direção Transversal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormente - Direção transversal - Grupo Vochysiaceae.													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões						Massa	ρ	Ultra-Som			
		Largura (cm)			Altura (cm)					Comp. (cm)	t _{us} (μs)	v _{us} (m/s)	C _{transv.} (MPa)
		a1	a2	am	b1	b2	bm						
S3-1	S3-1-T1	4,93	4,88	4,91	12,00	12,00	12,00	25,0	1087	0,738	53	2256	3755
S3-2	S3-2-T1	4,96	4,97	4,96	12,10	12,30	12,20	25,0	1088	0,719	53	2306	3824
S4-1	S4-1-T1	4,89	4,94	4,92	12,00	11,50	11,75	25,0	1162	0,804	63	1862	2788
S4-2	S4-2-T1	4,92	4,90	4,91	12,20	12,00	12,10	25,0	1213	0,816	61	1971	3169
S5-1	S5-1-T1	4,92	4,94	4,93	10,60	10,50	10,55	25,0	1079	0,831	53	1976	3242
S5-2	S5-2-T1	4,95	4,96	4,95	10,60	17,90	14,25	25,0	1110	0,629	55	2610	4286
S6-1	S6-1-T1	4,95	4,93	4,94	11,70	11,90	11,80	25,0	1257	0,863	72	1639	2317
S6-2	S6-2-T1	4,92	4,97	4,95	11,60	11,60	11,60	25,0	1223	0,852	66	1750	2608
S7-1	S7-1-T1	4,83	4,80	4,81	12,20	12,50	12,35	25,0	1190	0,801	63	1951	3048
S7-2	S7-2-T1	4,94	4,94	4,94	12,00	11,90	11,95	25,0	1147	0,777	75	1593	1973
S8-1	S8-1-T1	4,84	4,88	4,86	11,60	11,70	11,65	25,0	1099	0,776	55	2111	3459
D8-2	S8-2-T1	4,87	4,87	4,87	11,60	11,00	11,30	25,0	1101	0,800	56	2007	3223
S9-1	S9-1-T1	4,95	4,97	4,96	11,70	11,70	11,70	25,0	1140	0,787	57	2042	3279
S9-2	S9-2-T1	4,94	4,94	4,94	11,50	11,50	11,50	25,0	1129	0,795	55	2091	3477
S10-1	S10-1-T1	4,94	4,97	4,96	11,60	11,60	11,60	25,0	1009	0,701	50	2329	3806
S10-2	S10-2-T1	4,95	4,97	4,96	11,50	11,60	11,55	25,0	1017	0,710	49	2357	3943
S11-1	S11-1-T1	4,96	4,83	4,90	9,50	10,00	9,75	25,0	978	0,820	43	2247	4137
S11-2	S11-2-T1	4,97	4,90	4,94	10,00	9,90	9,95	25,0	980	0,798	49	2035	3302
S12-1	S12-1-T1	4,86	4,87	4,86	11,70	11,70	11,70	25,0	1030	0,724	67	1738	2188
S12-2	S12-2-T1	4,91	4,92	4,92	11,00	11,10	11,05	25,0	1038	0,765	71	1550	1836
D1-1	D1-1-T1	4,91	4,92	4,91	12,40	12,30	12,35	25,0	1229	0,810	95	1303	1375
D1-2	D1-2-T1	4,94	4,93	4,93	12,90	12,60	12,75	25,0	1254	0,797	72	1766	2486
D2-1	D2-1-T1	4,88	4,98	4,93	12,00	12,00	12,00	25,0	1141	0,772	67	1805	2514
D2-2	D2-2-T1	4,88	4,88	4,88	11,90	12,00	11,95	25,0	1123	0,770	69	1729	2302
D8-1	D8-1-T1	4,95	5,00	4,97	12,00	11,90	11,95	25,0	1168	0,786	73	1641	2118
D8-2	D8-2-T1	4,88	4,93	4,91	11,30	11,60	11,45	25,0	1116	0,795	66	1748	2429
D9-1	D9-1-T1	4,95	4,97	4,96	13,60	13,80	13,70	25,0	1563	0,920	64	2141	4214
D9-2	D9-2-T1	4,94	4,94	4,94	13,40	13,60	13,50	25,0	1522	0,913	78	1740	2764
D12-1	D12-1-T1	4,96	4,93	4,94	12,00	12,20	12,10	25,0	1156	0,773	70	1734	2322
D12-2	D12-2-T1	4,91	4,94	4,93	12,20	12,40	12,30	25,0	1197	0,790	71	1730	2365

Quadro A-9 -Parcela de dormente - Grupo *Eucalipto citriodora* – Dados gerais e medições não-destrutivas.

Direção Transversal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormente - Direção transversal - Grupo <i>Eucalipto citriodora</i> .													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões						Massa (g)	ρ (g/cm ³)	Ultra-Som			
		Largura (cm)				Altura (cm)				Comp. (cm)	t _{US} (μs)	v _{US} (m/s)	C _{transv.} (MPa)
		a1	a2	am		b1	b2						
E1-1	E1-1-T1	4,96	4,98	4,97	15,00	14,90	14,95	25,0	1896	1,021	80	1866	3557
E1-2	E1-2-T1	4,91	4,91	4,91	14,60	14,70	14,65	25,0	1900	1,056	80	1836	3560
E2-1	E2-1T1	4,94	4,96	4,95	13,80	14,00	13,90	25,0	1662	0,966	70	1974	3765
E2-2	E2-2-T1	4,97	4,98	4,97	14,00	13,70	13,85	25,0	1706	0,990	67	2070	4245
E3-1	E3-1-T1	4,95	4,98	4,96	13,00	12,90	12,95	25,0	1639	1,020	67	1930	3798
E3-2	E3-2-T1	4,91	4,93	4,92	13,00	13,00	13,00	25,0	1646	1,029	70	1871	3601
E4-1	E4-1-T1	4,93	4,93	4,93	12,00	12,30	12,15	25,0	1607	1,073	58	2084	4662
E4-2	E4-2-T1	4,97	4,99	4,98	11,80	11,20	11,50	25,0	1541	1,077	52	2216	5287
E5-1	E5-1-T1	4,94	4,91	4,93	11,60	11,60	11,60	25,0	1295	0,907	57	2053	3822
E5-2	E5-2-T1	4,94	4,97	4,96	11,00	11,80	11,40	25,0	1380	0,977	59	1926	3622
E6-1	E6-1-T1	4,93	4,94	4,93	12,60	12,70	12,65	25,0	1419	0,909	63	2018	3702
E6-2	E6-2-T1	4,96	4,95	4,96	12,80	12,80	12,80	25,0	1432	0,902	67	1913	3304
E7-1	E7-1-T1	4,93	4,91	4,92	13,20	13,20	13,20	25,0	1658	1,021	63	2085	4442
E7-2	E7-2-T1	4,93	4,95	4,94	13,10	13,00	13,05	25,0	1731	1,075	65	1998	4292
E8-1	E8-1-T1	4,91	4,95	4,93	14,30	14,30	14,30	25,0	1836	1,041	88	1632	2774
E8-2	E8-2-T1	4,91	4,92	4,92	14,30	14,40	14,35	25,0	1827	1,036	72	1988	4093
E10-1	E10-1-T1	4,97	4,95	4,96	12,20	12,00	12,10	25,0	1656	1,104	61	1977	4314
E10-2	E10-2-T1	4,95	4,94	4,95	12,10	12,20	12,15	25,0	1642	1,092	63	1929	4063
E11-1	E11-1-T1	4,97	4,94	4,95	14,90	15,00	14,95	25,0	1799	0,972	84	1784	3092
E11-2	E11-2-T1	4,91	4,88	4,89	15,00	15,00	15,00	25,0	1850	1,008	80	1873	3535
E12-1	E12-1-T1	4,95	4,97	4,96	13,60	13,50	13,55	25,0	1801	1,072	77	1760	3319
E12-2	E12-2-T1	4,93	4,96	4,95	13,50	13,90	13,70	25,0	1805	1,065	66	2063	4534
E13-1	E13-1-T1	4,95	4,90	4,93	13,40	13,50	13,45	25,0	1550	0,936	78	1735	2818
E13-2	E13-2-T1	4,96	4,96	4,96	13,30	13,40	13,35	25,0	1555	0,939	81	1650	2558

Quadro A-9 (Cont)-Parcela de dormente - Grupo *Eucalypto citriodora* – Dados gerais e medições não-destrutivas.

Direção Transversal.

Segunda Etapa - Parcela do Dormente - Direção transversal - Grupo <i>Eucalypto citriodora</i> .													
Parcela	Ponto de Medição	Dimensões						Massa (g)	ρ (g/cm ³)	Ultra-Som			
		Largura (cm)				Altura (cm)				Comp. (cm)	t _{US} (μs)	v _{US} (m/s)	C _{transv.} (MPa)
		a1	a2	am	b1	b2	bm						
E14-1	E14-1-T1	4,94	4,91	4,92	12,00	12,20	12,10	25,0	1446	0,970	61	1980	3806
E14-2	E14-2-T1	4,92	4,93	4,92	12,20	12,20	12,20	25,0	1469	0,978	63	1933	3657
E15-1	E15-1-T1	5,02	4,96	4,99	12,90	13,00	12,95	25,0	1617	1,001	154	840	707
E15-2	E15-2-T1	4,94	4,95	4,94	12,90	12,90	12,90	25,0	1633	1,025	69	1859	3541
E16-1	E16-1-T1	4,95	4,96	4,95	12,60	12,60	12,60	25,0	1559	0,999	61	2052	4209
E16-2	E16-2-T1	4,94	4,98	4,96	12,50	12,80	12,65	25,0	1621	1,034	63	2021	4223
E17-1	E17-1-T1	4,98	4,92	4,95	10,30	10,40	10,35	25,0	1286	1,004	73	1410	1997
E17-2	E17-2-T1	4,93	4,92	4,92	10,40	10,40	10,40	25,0	1296	1,012	57	1825	3370
E18-1	E18-1-T1	4,91	4,93	4,92	14,90	15,00	14,95	25,0	1910	1,039	120	1247	1615
E18-2	E18-2-T1	4,96	4,97	4,96	15,90	15,00	15,45	25,0	1990	1,038	76	2046	4346
E19-1	E19-1-T1	4,96	4,96	4,96	13,60	13,50	13,55	25,0	1907	1,135	71	1919	4181
E19-2	E19-2-T1	4,93	4,94	4,94	14,90	14,00	14,45	25,0	1973	1,106	66	2203	5367
E20-1	E20-1-T1	4,94	4,95	4,95	11,70	11,50	11,60	25,0	1339	0,933	57	2028	3839
E20-2	E20-2-T1	4,95	4,96	4,95	11,00	10,90	10,95	25,0	1332	0,982	58	1881	3477
E21-1	E21-1-T1	4,98	4,96	4,97	14,10	14,10	14,10	25,0	1550	0,885	76	1858	3055
E21-2	E21-2-T1	4,93	4,91	4,92	13,80	14,00	13,90	25,0	1601	0,937	76	1822	3109
E22-1	E22-1-T1	4,96	4,97	4,96	14,00	14,20	14,10	25,0	1777	1,016	111	1276	1654
E22-2	E22-2-T1	4,98	4,95	4,97	14,10	14,00	14,05	25,0	1841	1,056	69	2048	4429
E23-1	E23-1-T1	4,91	4,92	4,91	15,00	15,00	15,00	25,0	1832	0,994	79	1911	3631
E23-2	E23-2-T1	4,92	4,96	4,94	14,90	14,70	14,80	25,0	1831	1,003	85	1745	3054
E24-1	E24-1-T1	4,96	4,94	4,95	13,60	13,70	13,65	25,0	1856	1,099	68	2016	4469
E24-2	E24-2-T1	4,93	4,95	4,94	13,60	13,60	13,60	25,0	1868	1,113	64	2125	5025

Quadro A-10 –Corpos-de-Prova- Grupo *Lauraceae* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Longitudinal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Paralela às Fibras e Dureza Janka) - Amostra <i>Lauraceae</i> .													
Corpo de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo - Umidade corrente				Ensaio Destrutivo - Umidade de Referência - 12%			
			t_{us} (μ s)	v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)	f_{c0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	$f_{H90}^{(*)}$ (MPa)	E_{c0} (MPa)	$f_{c0,12}$ (MPa)	$f_{H0,12}$ (MPa)	$f_{H90,12}^{(*)}$ (MPa)	$E_{c0,12}$ (MPa)
S1-1-CP1	0,761	15,02	38,4	5104	19821	44,14	43,75	37,14	11420	48,14	47,71	40,50	12110
S1-2-CP1	0,746	15,98	39,2	5000	18661	45,63	39,20	35,32	13020	51,07	43,88	39,53	14055
S2-1-CP1	0,732	18,08	38,5	5091	18978	29,73	34,88	32,92	7784	35,16	41,25	38,93	8731
S2-2-CP1	0,713	21,35	40,4	4851	16776	35,92	33,33	24,59	14490	46,00	42,68	31,49	17200
D3-1-CP1	0,735	15,61	39,3	4987	18281	43,89	36,64	37,41	12900	48,65	40,61	41,46	13832
D3-2-CP1	0,723	13,71	38,2	5131	19042	36,92	37,34	44,46	12700	38,81	39,25	46,74	13134
D4-1-CP1	0,719	13,53	35,4	5537	22041	47,69	46,52	42,00	15670	49,89	48,66	43,93	16151
D4-2-CP1	0,715	14,17	35,8	5475	21425	43,45	42,71	45,34	11980	46,27	45,49	48,29	12499
D6-1-CP1	0,735	27,27	40,1	4888	17553	37,49	26,55	27,26	15150	54,67	38,71	39,75	19777
D6-2-CP1	0,766	30,71	43,7	4485	15403	35,06	30,12	28,40	13960	54,74	47,02	44,34	19183
D7-1-CP1	0,776	18,50	40,5	4840	18164		40,01	44,80			47,81	53,53	
D7-2-CP1	0,733	15,41	38,6	5078	18910		43,35	43,69			47,79	48,16	
D10-1-CP1	0,811	27,85	39,1	5013	20378	47,54	37,82	40,72	16060	70,14	55,80	60,08	21150
D10-2-CP1	0,864	28,76	41,4	4734	19371	49,03	36,33	35,59	16240	73,68	54,60	53,48	21684
D11-1-CP1	0,736	19,00	39,3	4987	18309	46,88	33,63	35,52	16170	56,72	40,69	42,98	18433
D11-2-CP1	0,786	20,99	38,9	5039	19955	35,98	37,24	35,29	13380	45,69	47,29	44,81	15786
	Corpos de Prova Com Defeitos.												
	Valores não Obtidos.												
(*)	Os ensaios de dureza normal às fibras, foram realizados nos corpos-de-prova CP1, aplicando-se o carregamento na direção transversal (normal) às fibras.												

Quadro A-11 –Corpos-de-Prova-Grupo *Vochysiaceae* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Longitudinal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Paralela às Fibras e Dureza Janka) - Grupo <i>Vochysiaceae</i> .													
Corpo de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo - Umidade corrente				Ensaio Destrutivo - Umidade de Referência - 12%			
			t_{us} (μ s)	v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)	f_{c0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	$f_{H90(*)}$ (MPa)	E_{c0} (MPa)	$f_{c0,12}$ (MPa)	$f_{H0,12}$ (MPa)	$f_{H90,12(*)}$ (MPa)	$E_{c0,12}$ (MPa)
S3-1-CP1	0,731	15,63	45,2	4336	13751	23,04	55,09	46,28	5711	25,55	61,09	51,32	6126
S3-2-CP1	0,751	14,65	41,5	4723	16760	22,34	56,67	49,02	6081	24,12	61,18	52,92	6403
S4-1-CP1	0,825	13,71	35,6	5506	24997	65,03	65,21	60,25	19220	68,36	68,55	63,34	19876
S4-2-CP1	0,802	15,58	34,4	5698	26042	55,37	63,45	45,47	15000	61,32	70,26	50,35	16074
S5-1-CP1	0,819	14,30	39,3	4987	20370	44,59	68,04	53,20	14550	47,67	72,74	56,88	15221
S5-2-CP1	0,830	14,68	41,3	4746	18689	34,10	75,30	64,53	9021	36,84	81,35	69,72	9505
S6-1-CP1	0,827	14,89	36,4	5385	23982	45,53	69,22	53,03	12270	49,48	75,23	57,64	12980
S6-2-CP1	0,836	15,22	36,5	5370	24112	57,84	80,29	57,72	17420	63,43	88,05	63,30	18542
S7-1-CP1	0,782	13,79	37,2	5269	21719	44,37	68,55	56,24	13620	46,76	72,24	59,26	14108
S7-2-CP1	0,779	13,27	37,0	5297	21848	49,58	68,68	56,61	14510	51,48	71,31	58,77	14880
S8-1-CP1	0,798	14,25	40,7	4816	18517		90,54	59,64			96,65	63,67	
S8-2-CP1	0,804	14,72	40,9	4792	18456		71,92	68,82			77,80	74,44	
S9-1-CP1	0,801	13,90	36,0	5444	23738	50,17	70,44	58,93	16560	53,03	74,45	62,29	17189
S9-2-CP1	0,797	13,92	34,3	5714	26016	52,61	70,17	57,28	20390	55,64	74,21	60,58	21173
S10-1-CP1	0,727	14,35	45,2	4336	13677	22,89	57,96	49,05	5558	24,50	62,04	52,50	5819
S10-2-CP1	0,703	14,63	44,7	4385	13522	25,90	52,22	42,03	5381	27,94	56,34	45,34	5664
S11-1-CP1	0,804	13,48	38,5	5091	20832	0,50	64,57	55,53	146	0,52	67,45	58,00	150
S11-2-CP1	0,774	12,70	38,0	5158	20582	46,26	63,32	50,50	13210	47,23	64,65	51,56	13394
S12-1-CP1	0,755	13,97	38,9	5039	19160	44,78	62,51	54,55	12910	47,42	66,20	57,77	13418
S12-2-CP1	0,761	15,07	38,4	5104	19820	47,27	58,77	52,02	14890	51,63	64,18	56,81	15805
D1-1-CP1	0,806	15,14	37,1	5283	22495	58,40	66,05	64,40	17200	63,90	72,27	70,46	18279
D1-2-CP1	0,790	15,45	37,7	5199	21357	56,29	66,69	43,52	19380	62,12	73,60	48,03	20718
D2-1-CP1	0,812	13,69	37,3	5255	22416	45,93	63,52	62,00	12990	48,26	66,74	65,14	13429
D2-2-CP1	0,829	13,09	37,1	5283	23124	39,16	68,85	60,59	15170	40,44	71,10	62,57	15501
D8-1-CP1	0,812	14,46	39,1	5013	20395	46,99	64,53	40,55	11200	50,46	69,29	43,54	11751
D8-2-CP1	0,758	14,17	38,3	5117	19861	50,54	51,01	55,43	15240	53,83	54,33	59,04	15902
D9-1-CP1	0,895	14,27	35,5	5521	27282	57,04	80,63	67,47	15320	60,92	86,11	72,06	16014
D9-2-CP1	0,897	14,36	36,3	5399	26140	66,55	90,41	81,37	15250	71,26	96,81	87,13	15969
D12-1-CP1	0,768	14,36	37,0	5297	21546	56,97	57,52	56,40	16490	61,00	61,59	60,39	17268
D12-2-CP1	0,778	13,44	36,0	5444	23065	62,09	67,87	53,84	17890	64,76	70,79	56,16	18403
	Corpos de Prova Com Defeitos.												
	Valores não Obtidos.												
(*)	Os ensaios de dureza normal às fibras, foram realizados nos corpos-de-prova CP1, aplicando-se o carregamento na direção transversal (normal) às fibras.												

Quadro A-12 –Corpos-de-Prova- Grupo *Eucalypto citriodora* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Longitudinal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Paralela às Fibras e Dureza Janka) - Amostra <i>Eucalypto citriodora</i> .													
Corpo de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo - Umidade corrente				Ensaio Destrutivo - Umidade de Referência - 12%			
			t_{us} (μ s)	v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)	f_{c0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (*) (MPa)	E_{c0} (MPa)	$f_{c0,12}$ (MPa)	$f_{H0,12}$ (MPa)	$f_{H90,12}$ (*) (MPa)	$E_{c0,12}$ (MPa)
E1-1-CP1	1,019	13,34	36,2	5414	29870	70,76	90,68	95,00	20220	73,61	94,33	98,83	20763
E1-2-CP1	1,019	13,27	36,8	5326	28909	71,47	94,46	82,58	26370	74,18	98,05	85,72	27037
E2-1-CP1	0,956	12,13	38,4	5104	24904	60,93	82,08	85,28	18230	61,17	82,40	85,62	18278
E2-2-CP1	0,966	15,07	39,5	4962	23786	58,57	83,53	74,76	15410	63,97	91,24	81,66	16358
E3-1-CP1	1,011	11,90	37,3	5255	27910	69,81	82,04	84,07	19190	69,60	81,79	83,81	19151
E3-2-CP1	0,998	11,98	37,8	5185	26842	67,87	79,75	68,95	21040	67,83	79,70	68,91	21031
E4-1-CP1	1,052	12,08	36,6	5355	30177	72,69	88,92	89,50	19600	72,86	89,13	89,71	19631
E4-2-CP1	1,042	11,65	36,2	5414	30550	67,38	88,25	88,25	16700	66,67	87,32	87,32	16582
E5-1-CP1	0,961	13,26	34,6	5665	30852	74,87	77,45	82,45	20610	77,71	80,39	85,58	21131
E5-2-CP1	0,974	13,68	35,1	5584	30371	73,34	82,72	70,84	21610	77,03	86,89	74,41	22336
E6-1-CP1	0,891	16,99	34,7	5648	28438	63,23	59,34	63,15	22590	72,69	68,22	72,60	24843
E6-2-CP1	0,889	12,60	34,6	5665	28525	66,56	58,77	60,18	22370	67,75	59,82	61,26	22637
E7-1-CP1	1,039	11,35	36,3	5399	30293	83,77	89,60	89,60	22440	82,13	87,84	87,84	22147
E7-2-CP1	1,050	11,52	36,0	5444	31112	78,55	81,37	96,48	27790	77,43	80,21	95,10	27526
E8-1-CP1	1,049	11,48	40,2	4876	24938	67,89	80,29	85,82	16930	66,82	79,03	84,47	16753
E8-2-CP1	1,059	12,36	40,5	4840	24791	57,81	80,69	80,96	16170	58,43	81,55	81,83	16285
E10-1-CP1	1,110	12,04	33,4	5868	38215	79,22	104,40	98,91	27880	79,32	104,53	99,03	27903
E10-2-CP1	1,091	12,30	35,3	5552	33627	72,40	82,85	93,24	23810	73,04	83,59	94,07	23951
E11-1-CP1	1,014	12,35	36,7	5341	28918	68,99	78,80	77,32	19240	69,71	79,62	78,12	19373
E11-2-CP1	0,994	13,97	38,2	5131	26163	68,33	73,81	77,45	14950	72,37	78,17	82,03	15539
E12-1-CP1	1,003	12,04	36,0	5444	29741	78,55	87,71	72,19	21510	78,64	87,81	72,27	21527
E12-2-CP1	1,072	14,56	34,2	5731	35195	82,99	88,65	95,27	24210	89,36	95,46	102,58	25449
E13-1-CP1	0,915	12,07	33,2	5904	31876	58,23	77,32	72,73	20820	58,35	77,48	72,88	20850
E13-2-CP1	0,933	12,51	33,5	5851	31937	61,35	70,84	73,14	18780	62,29	71,93	74,26	18972

Quadro A-12 (Cont)–Corpos-de-Prova- Grupo *Eucalypto citriodora* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Longitudinal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Paralela às Fibras e Dureza Janka) - Grupo <i>Eucalypto citriodora</i> .													
Corpo de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo - Umidade corrente				Ensaio Destrutivo - Umidade de Referência - 12%			
			t_{us} (μ s)	v_{us} (m/s)	C_{LL} (MPa)	f_{c0} (MPa)	f_{H0} (MPa)	f_{H90} (*) (MPa)	E_{c0} (MPa)	$f_{c0,12}$ (MPa)	$f_{H0,12}$ (MPa)	$f_{H90,12}$ (*) (MPa)	$E_{c0,12}$ (MPa)
E14-1-CP1	1,028	13,56	34,6	5665	32987	83,55	82,31	97,56	25590	87,45	86,15	102,11	26386
E14-2-CP1	1,029	14,16	34,9	5616	32442	80,08	83,26	83,12	25980	85,27	88,65	88,50	27102
E15-1-CP1	1,012	11,39	33,8	5799	34041	83,18	83,53	72,60	27680	81,67	82,01	71,28	27344
E15-2-CP1	1,011	13,13	35,0	5600	31702	80,75	79,07	83,39	21960	83,49	81,75	86,22	22456
E16-1-CP1	1,022	12,92	35,2	5568	31684	79,51	79,61	88,65	21890	81,71	81,82	91,11	22294
E16-2-CP1	1,054	14,11	35,0	5600	33068	75,93	78,13	94,05	21150	80,73	83,07	100,00	22041
E17-1-CP1	1,021	12,60	33,7	5816	34536	80,57	74,76	92,84	23000	82,03	76,12	94,52	23278
E17-2-CP1	1,017	17,92	34,1	5748	33604	77,71	78,80	100,10	22850	91,52	92,80	117,89	25557
E18-1-CP1	1,051	11,73	34,9	5616	33145	75,91	84,07	92,84	23780	75,30	83,40	92,10	23653
E18-2-CP1	1,087	13,16	34,9	5616	34273	79,81	83,66	105,10	30060	82,59	86,58	108,77	30759
E19-1-CP1	1,111	13,12	41,1	4769	25277	60,89	89,46	85,35	12970	62,94	92,48	88,23	13261
E19-2-CP1	1,124	12,94	41,4	4734	25190	59,31	100,90	96,89	12900	60,98	103,75	99,62	13143
E20-1-CP1	0,958	12,68	37,6	5213	26029	78,19	55,86	75,43	20660	79,78	57,00	76,97	20941
E20-2-CP1	0,961	11,21	37,0	5297	26971	73,08	68,95	73,14	20580	71,35	67,32	71,41	20256
E21-1-CP1	0,842	13,59	36,4	5385	24413	57,67	52,63	59,37	17730	60,41	55,13	62,19	18292
E21-2-CP1	0,888	14,33	38,6	5078	22896	46,17	51,95	51,14	11860	49,40	55,58	54,72	12413
E22-1-CP1	1,080	11,29	36,7	5341	30817	83,15	85,55	96,35	21110	81,38	83,73	94,30	20810
E22-2-CP1	1,083	14,60	36,5	5370	31225	83,06	90,24	84,61	22720	89,53	97,27	91,20	23900
E23-1-CP1	1,012	14,35	33,0	5939	35684	67,42	68,95	78,94	22100	72,18	73,82	84,52	23141
E23-2-CP1	0,995	11,64	34,1	5748	32875	68,17	77,72	68,14	22530	67,43	76,87	67,40	22366
E24-1-CP1	1,096	13,24	36,6	5355	31436	83,79	84,20	94,19	22840	86,90	87,32	97,68	23405
E24-2-CP1	1,114	13,83	36,9	5312	31417	80,22	84,74	93,92	22910	84,62	89,39	99,07	23748
Corpos-de-Prova Com Defeitos.													
Valores não Obtidos.													
(*)	Os ensaios de dureza normal às fibras, foram realizados nos corpos-de-prova CP1, aplicando-se o carregamento na direção transversal (normal) às fibras.												

Quadro A-13 –Corpos-de-Prova- Grupo *Lauraceae* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Transversal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Normal às Fibras) - Grupo <i>Lauraceae</i> .									
Corpos de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo Umidade Corrente		Ensaio Destrutivo Umidade de Referência 12%	
			t_{US} (μ s)	v_{US} (m/s)	$C_{transv.}$ (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	$f_{c90,12}$ (MPa)	$E_{c90,12}$ (MPa)
S1-1-CP3	0,664		69,7	1435	1368	6,00	707	3,84	537
S1-2-CP3	0,687	15,80	66,4	1506	1558				
S2-1-CP3	0,679	14,18	63,0	1587	1711	5,20	553	5,54	577
S2-2-CP3	0,744	17,00	61,5	1626	1968	4,00	354	4,60	389
D3-1-CP3	0,723	15,41	56,4	1773	2273	6,60	759	7,27	811
D3-2-CP3	0,723	13,56	70,4	1420	1460		794		819
D4-1-CP3	0,710	13,66	66,4	1506	1610		304		314
D4-2-CP3	0,766	15,36	55,4	1805	2496	5,60	641	6,17	684
D6-1-CP3	0,784	24,68	61,1	1637	2100	4,00	373	5,52	468
D6-2-CP3	0,713	19,11	63,7	1570	1757	3,40	322	4,13	368
D7-1-CP3	0,779		54,4	1838	2632	5,40	559	3,46	425
D7-2-CP3	0,761	16,00	59,2	1689	2172				
D10-1-CP3	0,733	13,07	53,8	1859	2534	7,00	879	7,23	898
D10-2-CP3	0,733	18,51	58,0	1724	2180	5,00	490	5,98	553
D11-1-CP3	0,744	18,65	64,0	1563	1817	3,80	438	4,56	497
D11-2-CP3	0,687		62,6	1597	1753				
	Corpos-de-Prova Com Defeitos								
	Valores não Obtidos								

Quadro A-14 –Corpos-de-Prova- Grupo *Vochysiaceae* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Transversal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Normal às Fibras) - Grupo <i>Vochysiaceae</i> .									
Corpos de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo Umidade Corrente		Ensaio Destrutivo Umidade de Referência 12%	
			t_{US} (μ s)	v_{US} (m/s)	$C_{transv.}$ (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	$f_{c90,12}$ (MPa)	$E_{c90,12}$ (MPa)
S3-1-CP3	0,733	13,95	43,7	2288	3840		2414		2509
S3-2-CP3	0,717	14,87	43,7	2288	3754	10,00	1887	10,86	1995
S4-1-CP3	0,822	13,05	52,6	1901	2969	7,50	1376	7,74	1404
S4-2-CP3	0,812	13,63	49,8	2008	3274	8,20	1544	8,60	1594
S5-1-CP3	0,864	12,99	56,0	1786	2756	8,60	1276	8,85	1301
S5-2-CP3	0,849	13,69	52,5	1905	3081	9,00	1260	9,46	1302
S6-1-CP3	0,868	13,46	66,6	1502	1957	9,00	1293	9,39	1331
S6-2-CP3	0,836	12,92	62,1	1610	2167		713		726
S7-1-CP3	0,774	13,73	53,6	1866	2695	8,00	1372	8,42	1420
S7-2-CP3	0,792	12,79	55,6	1799	2563	6,80	921	6,96	936
S8-1-CP3	0,810	12,98	54,2	1845	2759	8,80	920	9,06	938
S8-2-CP3	0,779	13,26	51,6	1938	2928	7,20	799	7,47	819
S9-1-CP3	0,787	13,07	49,4	2024	3226	8,40	1417	8,67	1447
S9-2-CP3	0,789	12,63	48,8	2049	3311	9,60	1381	9,78	1399
S10-1-CP3	0,709	13,60	42,9	2331	3854	10,00	1809	10,48	1867
S10-2-CP3	0,705	12,87	42,8	2336	3847	11,00	1714	11,29	1744
S11-1-CP3	0,783	12,75	44,0	2273	4042	9,00	2365	9,20	2400
S11-2-CP3	0,705		110,3	907	579				
S12-1-CP3	0,760	12,97	64,5	1550	1826	5,80	484	5,97	494
S12-2-CP3	0,756	13,26	65,9	1517	1740	5,20	604	5,40	619
D1-1-CP3	0,786	14,04	67,6	1479	1720	5,00	584	5,31	608
D1-2-CP3	0,779	14,39	57,9	1727	2324	7,20	974	7,72	1021
D2-1-CP3	0,761	12,66	57,1	1751	2334				
D2-2-CP3	0,799	13,57	59,7	1675	2240				
D8-1-CP3	0,781	14,21	63,2	1582	1954	5,40	713	5,76	745
D8-2-CP3	0,792		59,2	1689	2261				
D9-1-CP3	0,971	13,40	45,8	2183	4631		1746		1795
D9-2-CP3	0,934	13,65	59,4	1684	2647	7,20	934	7,56	965
D12-1-CP3	0,775	13,18	59,2	1689	2212	6,00	797	6,21	816
D12-2-CP3	0,803	14,25	59,6	1678	2261				

	Corpos-de-Prova Com Defeitos
	Valores não Obtidos

Quadro A-15 –Corpos-de-Prova- Grupo *Eucalypto citriodora* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Transversal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Normal às Fibras) - Grupo <i>Eucalypto citriodora</i> .									
Corpos de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo Umidade Corrente		Ensaio Destrutivo Umidade de Referência 12%	
			t_{US} (μ s)	v_{US} (m/s)	$C_{transv.}$ (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	$f_{c90,12}$ (MPa)	$E_{c90,12}$ (MPa)
E1-1-CP3	1,028	12,69	55,7	1795	3313		625		633
E1-2-CP3	1,035	13,22	54,9	1821	3435	7,20		7,46	
E2-1-CP3	0,961	15,21	48,8	2049	4035	10,67	1413	11,70	1503
E2-2-CP3	0,956	15,22	47,5	2105	4239	11,47	1638	12,58	1744
E3-1-CP3	0,999	13,74	50,8	1969	3872	7,47	634	7,86	657
E3-2-CP3	0,987	15,37	54,5	1835	3322	6,93	800	7,63	854
E4-1-CP3	1,079	14,43	49,0	2041	4492		1585		1662
E4-2-CP3	1,080	13,90	44,7	2237	5405		1114		1156
E5-1-CP3	0,945	12,99	51,7	1934	3535		781		796
E5-2-CP3	0,958	14,15	52,6	1901	3462	10,93	1373	11,63	1432
E6-1-CP3	0,906	12,53	51,1	1957	3469	8,00	816	8,13	825
E6-2-CP3	0,923	13,18	52,1	1919	3402	9,33	1177	9,66	1205
E7-1-CP3	1,065	13,32	50,7	1972	4145	10,93	1094	11,36	1122
E7-2-CP3	1,050	14,37	51,0	1961	4036	10,40	1331	11,14	1394
E8-1-CP3	1,047	13,95	46,0	2174	4946		1725		1792
E8-2-CP3	1,006	13,94	49,2	2033	4155		1671		1736
E10-1-CP3	1,115	12,90	49,4	2024	4569	11,47	1420	11,78	1446
E10-2-CP3	1,114	14,34	49,7	2012	4508	10,93	1568	11,70	1641
E11-1-CP3	0,978	13,25	54,6	1832	3282		517		530
E11-2-CP3	0,940	13,82	56,0	1786	2999	7,73	704	8,15	729
E12-1-CP3	1,062	13,21	48,1	2079	4588		1500		1536
E12-2-CP3	1,076	14,73	48,4	2066	4595	11,47	1608	12,41	1696
E13-1-CP3	0,929	12,22	58,8	1701	2687	7,20	449	7,25	451
E13-2-CP3	0,937	13,12	60,6	1650	2551	6,67	557	6,89	570

Quadro A-15 (Cont) –Corpos-de-Prova- Grupo *Eucalypto citriodora* – Dados gerais e medições destrutivas e não-destrutivas.

Direção Transversal.

Terceira Etapa - Corpos-de-Prova (Compressão Normal às Fibras) - Grupo <i>Eucalypto cCitriodora</i> .									
Corpos de Prova	ρ (g/cm ³)	U (%)	Ultra-Som			Ensaio Destrutivo Umidade Corrente		Ensaio Destrutivo Umidade de Referência 12%	
			t_{US} (μ s)	V_{US} (m/s)	$C_{transv.}$ (MPa)	f_{c90} (MPa)	E_{c90} (MPa)	$f_{c90,12}$ (MPa)	$E_{c90,12}$ (MPa)
E14-1-CP3	0,930	12,44	52,1	1919	3428	9,07	823	9,19	830
E14-2-CP3	0,955	14,05	52,0	1923	3533	10,93	1316	11,60	1370
E15-1-CP3	1,140		49,1	2037	4729	10,67	1290	6,83	981
E15-2-CP3	1,056	14,28	51,8	1931	3937	11,47	1457	12,26	1523
E16-1-CP3	1,013	4,38	48,5	2062	4307	11,73	1206	9,05	1022
E16-2-CP3	0,989		49,4	2024	4052				
E17-1-CP3	1,002	19,22	62,3	1605	2582		1246		1426
E17-2-CP3	0,968	8,17	52,1	1919	3568	8,80	1184	7,79	1094
E18-1-CP3	1,048	13,60	55,3	1808	3426		545		562
E18-2-CP3	1,062	15,26	52,2	1916	3897	8,00	955	8,78	1017
E19-1-CP3	1,143	13,75	52,5	1905	4147	10,93	1282	11,50	1327
E19-2-CP3	1,037	16,08	48,2	2075	4463	8,80	1049	9,88	1135
E20-1-CP3	0,973	13,86	52,6	1901	3518	10,00	1197	10,56	1242
E20-2-CP3	0,971	14,16	51,8	1931	3620	9,60	1190	10,22	1241
E21-1-CP3	0,826	12,64	57,4	1742	2507	5,33	626	5,43	634
E21-2-CP3	0,841	15,16	53,2	1880	2972	10,40	1322	11,38	1405
E22-1-CP3	1,000	6,45	44,9	2227	4962		1945		1729
E22-2-CP3	1,035	16,60	45,5	2198	5001		1759		1921
E23-1-CP3	0,986	14,03	53,4	1873	3458	10,00	1277	10,61	1329
E23-2-CP3	0,976	14,98	58,2	1718	2882	8,80	969	9,59	1027
E24-1-CP3	1,092	14,18	48,4	2066	4660		1862		1943
E24-2-CP3	1,100	15,42	46,5	2151	5090		1866		1994
	Corpos-de-Prova Com Defeitos								
	Valores não Obtidos								