

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

**MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS COMO FERRAMENTA DE APOIO AOS
PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADO NA AMAZÔNIA**

FERNANDO DA SILVA

Manaus, Amazonas
Março, 2012

FERNANDO DA SILVA

**MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS COMO FERRAMENTA DE APOIO AOS
PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADO NA AMAZÔNIA**

ORIENTADOR: Ph.D NIRO HIGUCHI

CO-ORIENTADOR: Dra. CLAUDETE CATANHEDE DO NASCIMENTO
Dr. JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS

Fonte financiadora: CNPq / FAPEAM

Bolsa: CNPq

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação do INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais, área de concentração em Manejo Florestal.

Manaus, Amazonas
Março, 2012

PARECER



Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

DEFESA PÚBLICA DISSERTAÇÃO / PPG-CFT - INPA

Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado de **FERNANDO DA SILVA** aluno (a) do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS, realizada no dia 16 de março de 2012.

Aos 16 dias do mês de março de 2012, às 09:h00min, no Auditório da Casa da Ciência do INPA Campus I, Sede/Bosque da Ciência, realizou-se a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: "**Modelagem Qualitativa de Resíduos Florestais para Geração de Produtos de Alto Valor Agregado**, do(a) aluno(a) **FERNANDO DA SILVA**, em conformidade com o Artigo 68 do Regimento Interno do PPG-CFT e Artigo 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCT-INPA) como parte final de seu trabalho para a obtenção do título de **MESTRE EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**, área de concentração em **Manejo Florestal**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes professores doutores: **CLAUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI** (UnB), **GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ** (UFPR) e **BAZILIO FRASCO VIANEZ** (INPA). O Presidente da Banca Examinadora, Dr. Niro Higuchi (orientador-INPA), deu início à sessão convidando os senhores membros e o(a) Mestrando(a) a tomarem seus lugares e informou sobre os procedimentos a serem observados para o prosseguimento do exame. A palavra foi, então, facultada ao(à) Mestrando(a) que apresentou uma síntese do seu estudo e respondeu às perguntas formuladas pelos membros da Banca Examinadora. Depois da apresentação e arguição, a referida Banca Examinadora se reuniu e decidiu por *ARROUAGUE*

A sessão foi encerrada às 11:15 e, para constar eu, Valdecira Azevedo, Secretária do PPG-CFT lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada foi assinada pelo Presidente e membros da Banca Examinadora. Em Manaus (AM), 16 de março de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. CLAUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

Profa. Dra. GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ

Prof. Dr. BAZILIO FRASCO VIANEZ

Niro Higuchi
Prof. Dr. NIRO HIGUCHI
Presidente da Banca

José Francisco de Carvalho Gonçalves
Prof. Dr. JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO GONÇALVES
Coordenador do PPG-CFT

PPG CFT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS
Manaus e Itaipava

Av. André Araújo, 2936 - 66000
CEP: 69.200-010 - Manaus, AM, Brasil
Fone/Fax: +55(0)11(0)43-1838
www.cft.inpa.gov.br - email: cft@inpa.gov.br



“Pois será como a árvore plantada junto às correntes de águas, a qual dá o seu fruto na estação própria, e cuja folha não cai, e tudo quanto fizer prosperará.”

“Salmo 1”

À todos os meus familiares.

DEDICO

Agradecimentos

À Deus;

Aos meus pais, Beatriz da Luz Cardoso da Silva e Leomar da Silva, pelo incondicional apoio na vida, nos estudos e odisseias por mim empreendidas, principalmente nesta, pela Amazônia, a qual não se encerra aqui;

Aos meus irmãos, Fábio, Frank e Fagner pelo apoio e incentivo;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de mestrado;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela estrutura, apoio institucional;

Ao Programa de Pós - Graduação em Ciências de Florestas Tropicais – CFT, pelo conhecimento e crescimento profissional oportunizado;

Aos orientadores Dr. Niro Higuchi, Dra Claudete Catanhede do Nascimento e Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pelo apoio, liberdade e confiança na realização deste trabalho, bem como ensinamentos transmitidos;

À empresa Precious Woods Amazon, na pessoa do Engenheiro Florestal Marcos Souza e do Diretor Florestal João Cruz, pela doação do material que viabilizou a realização deste trabalho;

Ao Laboratório de Manejo Florestal (LMF), pela estrutura, conhecimento, oportunidades e amizades;

À equipe do LEAN – INPA, Marta, Roberto, Jair e Edinelson;

À equipe do LTM – UFPR, Professores José Guilherme Prata, Rosilani Trianoski e à funcionária Maurice;

Aos pesquisadores e funcionários do CFT, INPA, COTI (antiga CPST) e da Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST - ZF2), pela convivência, trabalho;

Aos amigos de Curitiba, Maciel, Rodrigo, Timni e Karine, que mesmo na ausência se fizeram presentes com palavras de apoio e estímulo nas muitas horas em que precisei;

Aos amigos e companheiros de república “Caíque”, Mateus e Zanatta, pelos bons e divertidos dias de convivência e pela amizade;

À todos os amigos (as) do curso de Ciências de Florestas Tropicais, que no decorrer deste trabalho, pela presença, audiência, paciência e mérito, se transformaram em grandes amigos;

Aos que compartilharam sonhos, desalentos, alegrias e tristezas, lutando pelo sucesso na realização deste trabalho, minha profunda gratidão.

MUITO OBRIGADO.

S 586 Silva, Fernando da

Métodos não destrutivos como ferramenta para apoio aos planos de manejo florestal sustentado na Amazônia / Fernando da Silva. – Manaus : [s.n.], 2012, 170 f. : il color

Dissertação (Mestrado) – INPA, Manaus, 2012.

Orientador: Niro Higuchi

Co-orientador: Claudete Catanhede do Nascimento

Jorge Luis Monteiro de Matos

Área de concentração: Manejo Florestal e Silvicultura

1. Floresta tropical. 2. Madeira. 3. Resíduos florestais. 4. Ondas de tensão (técnica). I. Título.

CDD 19. ed. 634.98

Sinopse:

Foram estudadas as relações entre a velocidade de propagação das ondas de tensão e as variáveis físico-mecânicas de três espécies florestais arbóreas da região amazônica, bem como a classificação qualitativa com base na velocidade de propagação das ondas de tensão obtidas em avaliação não destrutiva por meio do aparelho Stress Wave Timer.

Palavras chave: Floresta tropical, madeira, resíduos florestais, ondas de tensão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ANEXOS.....	xix
RESUMO.....	xx
ABSTRACT	xxi
1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVOS.....	25
2.1 OBJETIVO GERAL	25
2.1.1 Objetivos Específicos.....	25
2.2 HIPÓTESES.....	25
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
3.1 MERCADO MADEIREIRO	26
3.2 QUALIDADE DA MADEIRA	27
3.3 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	28
3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	29
3.4.1 Massa Específica.....	29
3.4.2 Umidade	30
3.4.3 Estabilidade Dimensional.....	32
3.4.4 Retratibilidade.....	32
3.4.5 Anisotropia.....	33
3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	34
3.5.1 Modulo de Elasticidade (MOE)	34
3.5.2 Módulo de ruptura - MOR	35
3.5.3 Flexão Estática	36
3.5.4 Resistência na Compressão Paralela e Perpendicular às Fibras	38
3.5.5 Dureza Janka.....	39
3.6 AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE MATERIAIS	41
3.6.1 Métodos não destrutivos empregados na avaliação de materiais	42
3.7 ESTADO DA ARTE	43
3.8 CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA	47
3.8.1 Classificação visual	47
3.8.2 Classificação Mecânica	48
3.9 Análise Fatorial	49
3.10 Análise de Componentes Principais.....	50
3.11 Análise de Agrupamentos	51
4 MATERIAL E MÉTODOS	52
4.1 ÁREA DE ESTUDO	52
4.2 COLETA DE DADOS	54
4.3 IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA	55
4.4 ESPÉCIES ESTUDADAS	56

4.5	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	57
4.6	MANUSEIO DO MATERIAL.....	58
4.7	EQUIPAMENTO UTILIZADO	60
4.8	ENSAIOS COM O STRESS WAVE TIMER	60
4.9	DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO POR MEIO DO MÉTODO ACÚSTICO	61
4.10	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS.....	62
4.11	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	64
4.12	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1	PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO	69
5.1.1	Velocidade média de propagação das ondas de tensão nas toras nas pranchas e nos corpos de prova	69
5.2	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	71
5.2.1	Massa Específica.....	71
5.2.2	Retratibilidade.....	75
5.2.3	Inter-relação entre as variáveis físicas e a velocidade de propagação das ondas	79
5.2.4	Modelagem das variáveis físicas por espécie.....	83
5.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS	102
5.3.1	Ensaio de flexão estática e dinâmica por espécie	102
5.3.2	Modelagem das variáveis mecânicas por espécie.....	104
5.4	RELAÇÃO ENTRE AS VÁRIÁVEIS DE FLEXÃO ESTÁTICA E DINÂMICA PARA CADA ESPÉCIE	120
5.5	DUREZA	124
5.6	COMPRESSÃO	130
5.7	CLASSIFICAÇÃO	135
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES	147
6.1	CONCLUSÕES.....	147
6.2	CONSIDERAÇÕES.....	148
6.3	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	150
7	REFERÊNCIAS.....	151
	ANEXO I.....	168
	ANEXO II.....	169

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA NA MADEIRA.....	37
FIGURA 2 - ENSAIO DE DUREZA JANKA.....	40
FIGURA 3 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA MSR.....	49
FIGURA 4 – MAPA DA ÁREA MANEJADA PELA EMPRESA PRECIOUS WOODS AMAZON.....	52
FUGURA 5 – MANUSEIO DAS TORAS NO PÁTIO DA EMPRESA E NAS DEPENDÊNCIAS DO INPA.....	54
FIGURA 6 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA DE MADEIRAS.....	55
FUGURA 7 – CUBAGEM.....	58
FIGURA 8 - DESDOBRO DAS TORAS EM PRANCHAS	58
FIGURA 9 – PRANCHAS	59
FIGURA 10 – DESDOBRO DAS PRANCHAS	59
FIGURA 11 – PEÇAS RETIRADAS DAS PRANCHAS	59
FIGURA 12 – VIGOTES	59
FIGURA 13 – APARELHO STRESS WAVE TIMER	61
FIGURA 14 – CORPO DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE DA MADEIRA, DE ACORDO COM A NORMA COPANT 462 (1972b)	63
FIGURA 15 – MEDIDOR DE UMIDADE	65
FIGURA 16 – ACONDICIONAMENTO DO MATERIAL	65
FIGURA 17 - CORPOS DE PROVA	66
FIGURA 18 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA	66
FIGURA 19 – ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA	67
FIGURA 20 – ENSAIO DE DUREZA	67

FIGURA 21 – COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDOS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E ACÚSTICAS PARA AS TRÊS ESPÉCIES	79
FIGURA 22 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	85
FIGURA 23 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	86
FIGURA 24 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	89
FIGURA 25 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	90
FIGURA 26 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	93
FIGURA 27 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	94
FIGURA 28 – RELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA CADA ESPÉCIE	98
FIGURA 29 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	107
FIGURA 30 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	108
FIGURA 31 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	111
FIGURA 32 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	112

FIGURA 33 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	115
FIGURA 34 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	116
FIGURA 35 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA AS TRES ESPÉCIES	120
FIGURA 36 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE DUREZA, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS	127
FIGURA 37 – RELAÇÃO DO MOE E MOR NA COMPRESSÃO PARALELA COM A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS	132
FIGURA 38 – RELAÇÃO ENTRE MOR NA DUREZA NORMAL E PARALELA COM O MOR NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA	134
FIGURA -39 – DENDROGRAMA OBRIDO NA ANÁLISE COM BASE NA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.	136
FIGURA 40 - DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	138
FIGURA 41 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.....	139
FIGURA 42 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA ESPÉCIES <i>Nectandra cuspidata</i>	140
FIGURA 43 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENS PARA ESPÉCIES <i>Mezilaurus itauba</i>	141
FIGURA 44 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES <i>Ocotea guianensis</i>	142
FIGURA 45 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DA DUREZA NORMAL E PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS	143

FIGURA 46 - DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.....144

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: COEFICIENTE DE ANISOTROPIA.	34
TABELA 2 – DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA DUREZA EM MATERIAIS POR TIPOS DE INSTRUMENTOS DE PENETRAÇÃO E MEDIDAS AVALIADAS	39
TABELA 3 – TRABALHOS DEDICADOS A CORRELACIONAR PROPRIEDADES MECÂNICAS COM O TEMPO E/OU VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS	46
TABELA 4 – TESTE DE MÉDIA PARA OS VALORES DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO NAS TORAS E NAS PRANCHAS.....	69
TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DE TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MASSA ESPÉCIFICA BÁSICA DO CERNE E DO ALBURNO POR ESPÉCIE.....	72
TABELA 6 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO.....	74
TABELA 7 – VELORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO MÉDIOS DO CERNE E ALBURNO.....	75
TABELA 8 – TESTE DE MÉDIA PARA OS VALORES DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO NAS TORAS E NAS PRANCHAS.	77
TABELA 9 – AUTOVALORES DAS DUAS PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA VARIÁVEIS FÍSICAS E ACÚSTICAS DAS TRÊS ESPÉCIES	80
TABELA 10 – FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉZ DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E ACUSTICAS DAS TRÊS ESPÉCIES	81
TABELA 11 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO PARA AS TRÊS ESPÉCIES.....	82

TABELA 12 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO PARA AS TRÊS ESPÉCIES.....	82
TABELA 13 - CORRELAÇÃO DE <i>Pearson</i> ENTRE AS VARIÁVEIS PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	84
TABELA 14 – EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	84
TABELA 15 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	87
TABELA 16 - CORRELAÇÃO DE <i>Pearson</i> ENTRE AS VARIÁVEIS PARA A <i>Mezilaurus itauba</i>	88
TABELA 17 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	88
TABELA 18 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	91
TABELA 19 - CORRELAÇÃO DE <i>Pearson</i> ENTRE AS VARIÁVEIS PARA <i>Ocotea guianensis</i>	92
TABELA 20 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	92
TABELA 21 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	95
TABELA 22 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE MÉDIA PARA AS VARIÁVEIS DE FLEXÃO DAS ESPÉCIES	102
TABELA 23 - VALORES MÉDIOS E TESTE DE MÉDIA PARA AS VARIÁVEIS DE FLEXÃO DAS ESPÉCIES DISCRIMINADO ENTRE CERNE E ALBURNO	103
TABELA 24 - CORRELAÇÃO DE <i>Pearson</i> ENTRE AS VARIÁVEIS MECÂNICAS PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	106

TABELA 25 - MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	106
TABELA 26 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE <i>Nectandra cuspidata</i>	109
TABELA 27 - CORRELAÇÃO DE <i>Pearson</i> ENTRE AS VARIÁVEIS MECÂNICAS PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	110
TABELA 28 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	110
TABELA 29 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE <i>Mezilaurus itauba</i>	113
TABELA 30 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS MECÂNICAS PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	114
TABELA 31 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	114
TABELA 32 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	117
TABELA 33 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS.	121
TABELA 34 – VALORES MÉDIOS DE DUREZA PARALELA E DUREZA NORMAL ÀS FIBRAS OBTIDOS PARA AS TRÊS ESPÉCIES ESTUDADAS, COM OS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO	124
TABELA 35 – CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS PROPOSTA PELO IBAMA COM BASE NA DUREZA.	126
TABELA 36 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DA DUREZA	128
TABELA 37 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA OS VALORES DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO PARALELA PARA TODAS AS ESPÉCIES	130

TABELA 38 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE <i>Ocotea guianensis</i>	132
TABELA 39 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DO MOR NA DUREZA NORMAL E PARALELA EM FUNÇÃO DO MOR NA COMPRESSÃO PARALELA PARA TODAS AS ESPÉCIES.	134
TABELA 40 - CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES <i>Nectandra cuspidata</i>	140
TABELA 41 - CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES <i>Mezilaurus itauba</i>	141
TABELA 42 - CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES <i>Ocotea guianensis</i>	142
TABELA 43 – CLASSIFICAÇÃO DA DUREZA NORMAL E PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO.....	143
TABELA 44 - CLASSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO	144

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – SOLICITAÇÃO DE ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA AO LABORATÓRIO DE ANATOMIA DA MADEIRA DO INPA.....	168
ANEXO II – LAUDO TÉCNICO DE IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA DAS ESPÉCIES.....	169

RESUMO

Técnicas não destrutivas (NDT) podem ser definidas como aquelas que identificam propriedades físicas e mecânicas de materiais sem alterar sua capacidade de uso futuro. O estudo da madeira e de seus subprodutos por meio destas técnicas é bastante difundido e remonta à década de 1960. O diferencial em relação às técnicas destrutivas reside na rapidez da avaliação e no reduzido custo. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade e classificar resíduos florestais por meio da técnica de avaliação não destrutiva de madeira com uso de ondas de tensão. Foram avaliadas as espécies *Nectandra cuspidata* Ness Mart., *Mezilaurus itaúba* (Meissn.) Taub. e *Ocotea guianensis* Ducke. As espécies foram identificadas anatomicamente no Laboratório de Anatomia da Madeira do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Foram preparadas e testadas amostras, de acordo com as recomendações da Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas. Antes do ensaio destrutivo de flexão, as amostras foram avaliadas por metodologia não destrutiva com ondas de tensão para determinação do módulo de elasticidade dinâmico com base na velocidade de propagação das ondas. O teste de médias de *tukey* apontou diferenças significativas entre os valores médios das espécies para propriedades físicas e mecânicas. Foram ajustados modelos lineares relacionando velocidade de propagação da onda, módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de elasticidade estático para cada espécie e para o conjunto, em ambos os casos os modelos apresentaram elevado R^2 e alta significância, no entanto a análise dos dados em um único conjunto mostrou resultados superiores. Conclui-se que o método é adequado para avaliar e classificar o material avaliado com base na velocidade de propagação das ondas de tensão, captando inclusive pequenas variações como as intra-específicas, propiciando o desenvolvimento de modelos com boa previsibilidade. A classificação de peças de madeira com base na velocidade de propagação das ondas de tensão mostra-se altamente viável e eficaz, contribuindo para uma significativa melhoria no conhecimento das propriedades físico-mecânicas da madeira.

ABSTRACT

Nondestructive techniques (NDT) can be defined as those that identify physical and mechanical properties of materials without changing their ability to use future. The study of wood and its by-products by means of these techniques is well known and dates back to the 1960s. The advantage over destructive techniques is the speed of assessment and reduced cost. The objective was to evaluate and classify forest residues through the technique of nondestructive evaluation of wood with the use of stress waves. We evaluated the species *Nectandra cuspidata* Ness Mart., *Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub. e *Ocotea guianensis* Ducke. The species were identified anatomically in the Laboratory of Wood Anatomy of the National Institute of Amazonian Research. Samples were prepared and tested in accordance with recommendations of the COPAN Standards. Before the destructive bending test, the samples were evaluated by non-destructive method with stress waves for determining the dynamic modulus of elasticity based on the speed of propagation of waves. The *tukey* test showed significant differences between the mean values for physical properties of the species, but not to the mechanical properties. Linear models were fitted between the wave propagation velocity, dynamic and static modulus of elasticity for each species and for all data, in both cases the models showed a high R² and highly significant, however the analysis of all data in a single group showed superior results. It is concluded that the method is suitable to assess and classify the material evaluated based on the speed of propagation of stress waves, capturing even small variations such as intra-specific, allowing the development of models with good predictability. The grading of wooden parts based on the speed of propagation of stress waves is shown to be highly efficient and effective, contributing to a significant improvement on the knowledge of the physical-mechanical properties of wood.

1 INTRODUÇÃO

Ao observar a história da maioria dos países desenvolvidos identificamos em algum momento o uso massivo dos recursos naturais, especialmente as florestas, para alavancar seus processos de desenvolvimento. Hoje, alguns países mantêm sua cobertura florestal porque reconheceram o valor e a importância dos recursos florestais, não só como fonte energética e de matéria-prima, mas também do ponto de vista ambiental. No Brasil desde o descobrimento vem utilizando seus recursos florestais, no entanto mesmo após cinco séculos, ainda não reconhece integralmente o valor e a importância dos mesmos. A conservação e o manejo das florestas para a produção racional de bens e serviços de forma sustentável é um desafio e também uma oportunidade para toda a sociedade. A quantificação de sua extensão, qualidade e importância socioeconômica, por meio de informações atualizadas e confiáveis, é um aspecto importante para a valorização de nossas florestas.

A Amazônia contém um dos maiores estoques de madeira do mundo. No entanto a exuberância da floresta tem sido confundida com abundância do recurso madeira. Até recentemente, a madeira era abundante e barata na Amazônia, deste modo, havia pouca motivação para reduzir o desperdício no processamento. O que se observa hoje é uma situação de mudança, pois atualmente, há um rico debate na sociedade brasileira sobre o futuro da Amazônia. A definição de Manejo Florestal deixou de ser puramente técnica e com significado somente para os florestais e passou a ser entendido dentro do contexto da “Agenda 21”, trazendo para o setor florestal o paradigma do desenvolvimento sustentável, a madeira tem se tornado um produto cada vez mais valorizado e escasso, o que despertou pesquisadores e o setor produtivo para busca de soluções para reduzir o desperdício.

A maioria dos usos da madeira na região envolve enormes desperdícios, e esses resíduos geralmente são queimados ou transformados em material de baixo valor como carvão. O aproveitamento dos resíduos da indústria madeireira de forma mais nobre geraria empregos e mais riqueza para a região. Nos planos de manejo florestal, a exploração florestal é extremamente seletiva e segundo os últimos estudos, o ciclo de corte adotado não permite que a floresta recupere o estoque nem em termos

quantitativos. O reduzido número de espécies exploradas para atender as necessidades industriais poderá acarretar no esgotamento do seu valor comercial, como já ocorreu com algumas espécies que foram exploradas em área de várzea para produção de compensados. Assim, urge que outras espécies sejam estudadas visando conhecer as suas propriedades e direcioná-las para os diversos usos finais.

O panorama estabelecido, segundo Clement e Higuchi (2006) é: baixo nível tecnológico na transformação da madeira em produtos, grande desperdício e a falta de mercado para a maioria das espécies amazônicas. Inserir novas espécies no mercado exige tempo e mudança cultural, mas mais do que isso, demanda informação tecnológica, ou seja, conhecimento das características físicas e tecnológicas da espécie. As avaliações destrutivas, em geral são os principais métodos utilizados para o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira. A obtenção dos resultados a partir dessa metodologia é por vezes onerosa, em razão do tempo consumido com a confecção dos corpos-de-prova e custo de material, nesse sentido metodologias alternativas que permitam avaliações rápidas, a um custo reduzido e que assegurem a qualidade dos resultados.

Avaliações não destrutivas da madeira são amplamente aplicadas na Europa e nos Estados Unidos, apresentando bons resultados e significativa economia financeira. No entanto deve-se considerar que a diversidade de espécies nestes mercados é reduzida e as condições de crescimento das espécies são uniformes, tornando as avaliações menos complexas. A realidade brasileira, em especial na Amazônia, é bem diferente, em parte isto se deve a grande diversidade de espécies, se tivéssemos apenas duas ou três espécies, com certeza já teríamos todas as características tecnológicas e tratamentos silviculturais definidos, no entanto temos muitas espécies, e quase nada definido.

De nada serve tamanha variedade se não conhecemos as características físico-mecânicas que determinam suas limitações e indicam suas utilizações. A aplicação dessas tecnologias inovadoras na avaliação da qualidade da madeira pode torná-la um material de maior valor econômico agregado, constituindo assim mais uma ferramenta para o melhor aproveitamento desta matéria-prima. Estudos recentes concluíram que estes métodos, além de passíveis de realização em múltiplas ocasiões, são de rápida

execução, tem baixo custo nas análises, e podem ser aplicados em árvores em pé, árvores caídas, em partes do tronco, em resíduos e também no produto final. Para região amazônica, são escassos os trabalhos abordando o tema qualidade da madeira por meio de técnicas não destrutivas.

Diante do exposto, o presente trabalho pretende por meio do uso de técnicas de avaliação não destrutiva, avaliar a qualidade de resíduos florestais provendo informações que possibilitem o melhor aproveitamento da madeira na indústria, e consequente redução da quantidade de resíduos. Em última análise a motivação para este trabalho é a valorização da floresta e a viabilização do manejo florestal, por meio da agregação de valor aos múltiplos produtos retirados da floresta.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade e classificar resíduos florestais por meio da técnica de avaliação não destrutiva de madeira com uso de ondas de tensão.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Buscar inter-relações entre as propriedades da madeira e as variáveis do método de emissão de ondas de tensão;
- Desenvolver modelos matemáticos que permitam estimar as propriedades da madeira por meio da técnica de emissão de ondas de tensão;
- Estabelecer faixas de qualidade baseadas na velocidade de propagação das ondas.

2.2 HIPÓTESES

A pergunta a qual nos propomos responder é:

É possível classificar resíduos florestais por meio de técnicas não destrutivas e utilizá-los para a geração de produtos de alto valor agregado?

Para tal as hipóteses levantadas referem-se á efetividade do método de avaliação por meio de ondas de tensão. Assim, as hipóteses levantadas são:

H0 = Não há correlação entre a velocidade de propagação e as características da madeira;

H1 = Há correlação entre a velocidade de propagação e as características da madeira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MERCADO MADEIREIRO

A exploração e processamento industrial de madeira estão entre as principais atividades econômicas da Amazônia, ao lado da mineração industrial e agropecuária. Em 2004, o setor madeireiro extraiu 24,5 milhões de metros cúbicos de madeira em tora, gerando 10,4 milhões de metros cúbicos de madeira processada, 64% destinada ao mercado doméstico, e 36% para o mercado externo. Segundo Lentini, (2005), somente as exportações foram de US\$ 943,0 milhões neste mesmo ano.

Nepstad *et al.* (1999) analisaram a produção de 55% das indústrias madeireiras em operação nos anos de 1996-97, reportando uma produção de 27,8 milhões de m³ de madeira em tora, envolvendo uma área de 900 mil a 1,5 milhões de hectares. Higuchi, (2006), com base em informações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, no período de 1997-2001, afirma que a madeira da região é 17% originada de planos de manejo florestal (Decreto 5.975 de 30/11/06), 20% de desmatamento autorizado e 63% tem origem ilegal. Este cenário é agravado na medida em que se confirmam as previsões futuras para o mercado, segundo Higuchi *et al.* (2006), os dois principais produtores de madeira tropical, Malásia e Indonésia, em menos de 10 anos deixarão de abastecer o mercado internacional de madeira dura tropical, sendo substituídos pela América Latina, principalmente Amazônia.

Entre 1998 e 2004, o consumo de madeira da Amazônia esteve entre 24 e 28 milhões de m³. No entanto segundo Clement; Higuchi, (2006), não há eficiência na conversão de toras em madeira processada. Dados levantados nas unidades mais modernas de processamento na região de Manaus revelam que o rendimento médio na conversão de madeira em tora para serrados está em torno de 30%, ou seja, em média 70% da madeira que é retirada da floresta torna-se lixo ou passivo ambiental no pátio das empresas, ou é destinada a queima para produção de energia.

3.2 QUALIDADE DA MADEIRA

Segundo Birkland, (1990), o conceito de qualidade da madeira tem evoluído ao longo do tempo e hoje é visto de forma dinâmica e é definida como um conjunto de características anatômicas, físicas, químicas e de resistência que conferem à madeira aptidão para determinado uso final. Esse conceito é difícil de explicar, pois vários são os fatores que influenciam na adequação da madeira para os diversos propósitos, entre estes estão: massa específica, uniformidade no crescimento, percentual de cerne e alburno, comprimento da fibra, inclinação de grã, percentual de vasos em folhosas, presença de madeira juvenil e de reação, além da composição celular, presença de nós, orientação da grã e composição química (CHIES, 2005).

A valorização da madeira como matéria prima, tem requerido maior volume de pesquisas a cerca de novas aplicações, bem como sobre qualidade. No entanto, apesar de muitos serem os fatores a interferir na determinação da qualidade da madeira, as pesquisas tem se concentrado na avaliação da massa específica, resistência mecânica e algumas características tecnológicas das espécies, sendo esta avaliação, direcionada para produtos e processos (CASTELO, 2007).

Devido à heterogeneidade da madeira, é importante a ampliação de estudos sobre as propriedades físicas e mecânicas para fins de caracterização da madeira, tais como retratibilidade, compressão axial, flexão estática, flexão dinâmica e cisalhamento. Rocha (1994) afirma que a heterogeneidade da madeira deve-se a diversos fatores como clima, solo, local de crescimento e fatores genéticos. É importante ressaltar que, mesmo procedente da mesma árvore, a madeira pode apresentar características heterogêneas, pois, ao longo do fuste, diferentes fatores influenciam no crescimento. Dessa forma, o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é fundamental em estudos relacionados à qualidade e tecnologia da madeira.

3.3 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

A madeira possui diversas propriedades que a torna muito atraente frente a outros materiais. Dentre essas, são comumente citados o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência, boa capacidade de isolamento térmico, acústico e elétrico, além de ser um material de fácil trabalhabilidade tanto manualmente como em processos industriais. Entretanto, o aspecto que distingue a madeira dos demais materiais é a possibilidade de produção sustentada, e as modernas técnicas silviculturais, que permitem obter matéria-prima com qualidade de acordo com o uso final desejado.

O fato de a madeira resultar do crescimento de um ser vivo, implica que suas características variam em função do meio ambiente. A esta variabilidade acrescenta-se as diferentes espécies de árvores, cada qual com características anatômicas, físicas e mecânicas próprias. Vários estudos têm procurado identificar quais os fatores que afetam as propriedades físico-mecânicas da madeira e os que podem ser inerentes à própria madeira, como também ao ambiente onde a árvore se desenvolve. Para Evans *et al.*, (2000), as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, entre outros fatores, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis do ângulo das microfibrilas, inclinação da grã, quantidade de extrativos, teor de umidade, intensidade do ataque de insetos e patógenos, e do tipo, localização e quantidade de nós.

É sabido que a madeira é um material heterogêneo, possuindo diferentes tipos de células, adaptadas ao desempenho de funções específicas; apresentando variações em sua composição química, física e anatômica de acordo com a espécie. Dentro da mesma espécie, essa heterogeneidade se dá de acordo com a idade, posição na árvore, fatores genéticos e ambientais (SHIMOYAMA, 1990).

A madeira é uma das principais matérias primas industriais, e apresenta características tais como anisotropia (propriedades distintas nos diferentes sentidos de crescimento), higroscopicidade (capacidade de perder ou adquirir umidade dependendo das condições ambientais) e variabilidade nas propriedades mecânicas, o que torna complexa a sua utilização nos diferentes processos (KLOCK, 2000). A natureza biológica

da madeira permite a ação de diversos mecanismos de deterioração, estes, no entanto, podem ser minimizados ou até eliminados.

Segundo (PANSHIN & DE ZEEUW, 1980) citado por Albuquerque, (1999) a madeira apresenta diferente comportamento nas propriedades físicas e mecânicas quando testada em seus três eixos, tangencial, longitudinal e radial. Além deste comportamento diferenciado, a madeira também apresenta defeitos naturais, como nós, inclinação da grã, percentagem de lenho juvenil e adulto, lenhos de reação, entre outros, interferindo no comportamento da madeira (IWAKIRI 1998). A variabilidade da madeira ocorre devido a diferenças estruturais desde a ultra estrutura da parede celular, à geográficas, embora as duas fontes de variação apresentem graus e intensidades diferentes ambas influenciam na adequabilidade para uso final da madeira. No entanto, por ser a variação menos compreendida até hoje, acredita-se que a fonte de variação que ocorre dentro da árvore seja a mais significativa (COWN, 1974).

3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

3.4.1 Massa Específica

Esta propriedade é definida como a relação entre o peso seco da madeira e o seu volume obtido acima do ponto de saturação das fibras, é resultante da interação entre as características químicas, anatômicas e morfológicas (BARRICHELO, 1979). Segundo Moreschi, (1977), além de ser um excelente índice de quantidade de substância lenhosa contida num pedaço de madeira, a massa específica, em termos anatômicos é função da proporção entre o volume das paredes celulares e o volume de seus lumes que, conseqüentemente, é afetada pelas suas dimensões médias, pela quantidade de extrativos e outros componentes não fibrosos, como o tecido molecular.

Dentre as características utilizadas para avaliar a qualidade da madeira, a massa específica tem sido a mais empregada devido a sua relação com outras importantes características tecnológicas e econômicas, dentre as quais podemos citar: a alteração dimensional, resistência mecânica, bem como os custos operacionais ligados ao transporte e armazenamento da madeira. Segundo Chimelo, (1980), a massa específica apresenta boas correlações com a retratibilidade, secagem, trabalhabilidade,

impregnabilidade e propriedades mecânicas. Também é considerada pelas indústrias de base florestal, como uma das mais importantes propriedades, por ser de fácil determinação e por estar correlacionada com rendimentos e características de diversos produtos, além de ser alterada através de práticas silviculturais e manipulada geneticamente (ZOBEL, 1961). Por esta razão é frequentemente inserida como variável resposta em programas de melhoramento genético.

A massa específica da madeira apresenta uma variabilidade entre as diferentes espécies florestais. Essas variações se devem às diferenças na espessura da parede celular, tamanho e quantidade proporcional de diferentes tipos de células lenhosas (fibras, elementos de vasos e parênquima), bem como na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume. Intra-especificamente, as variações são decorrentes de alterações internas nos componentes estruturais e químicos. Essas diferenças ocorrem em função, principalmente, da idade da árvore, genótipo e fatores edafoclimáticos, fisiológicos e fisiográficos. Esses fatores são em geral iterativos o que dificulta avaliações isoladas.

Considerando a variação dentro da mesma espécie são propostos três modelos de variação: 1º aumento da medula para a casca; 2º valores mais altos próximos à medula, mas decrescendo nos primeiros anos e, a seguir, aumentando em direção à casca; 3º decréscimo da medula até a casca. Esta propriedade é sem dúvida muito segura e efetiva para avaliações da qualidade da madeira, em função da boa correlação com as outras propriedades, entretanto, não indica de forma direta e conclusiva valores das propriedades mecânicas, dimensões das fibras, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos. (PANSIN & DE ZEEUW, 1980).

3.4.2 Umidade

Kollmann (1959) define teor de umidade como a quantidade de água presente em um corpo em relação a sua massa. Segundo Moreschi (2010), o teor de umidade de uma madeira é a relação entre o peso da água contida no seu interior e o seu peso no estado completamente seco, expresso em porcentagem. Segundo este mesmo autor, a massa específica da madeira de uma árvore recém abatida está em função da água contida nos espaços celulares e intercelulares da madeira (água livre ou de capilaridade), da água

impregnada nas paredes celulares (água de impregnação) e da água que participa da constituição química da madeira (água de adsorção química). Como consequência, o teor de umidade da madeira é um fator de grande importância no que concerne aos custos de transporte, normalmente inviabilizando que a madeira no estado “verde” seja industrializada a grandes distâncias da área de exploração.

A madeira das árvores vivas ou recentemente derrubadas apresenta alto teor de umidade. Nessas condições, os vasos, o lúmen, bem como os espaços vazios, localizados no interior das paredes celulares, apresentam-se saturados de água (GALVÃO & JANKOWSKY 1985). Quando a madeira é submetida a secagem, evapora-se a água contida nas células ocas, atingindo-se o *Ponto de saturação das fibras* (PSF), no qual as paredes das células ainda estão saturadas, porém a água no seu interior se evaporou; este ponto corresponde a teores de 28 - 30% de umidade (KOLMANN & CÔTÉ Jr, 1968). Só ocorrem alterações das propriedades de resistência da madeira (mecânicas e elásticas) entre 0% de umidade e o ponto de saturação das fibras. Acima desse ponto as propriedades de resistência são estáveis.

Controlar o teor de umidade da madeira é indispensável para sua correta utilização, e evita defeitos como empenamentos, arqueamentos e torções. Estes defeitos são comumente observados em artefatos de madeira, confeccionados antes da madeira entrar em equilíbrio higroscópico com o ambiente ao que estes serão mantidos. O teor de umidade também está relacionado com propriedades de resistência da madeira (propriedades mecânicas), com a trabalhabilidade, poder calorífico e suscetibilidade a fungos.

No tocante ao teor de umidade, Moreschi, (2010), recomenda:

- especificar o teor médio de umidade e os valores mínimo e máximo, considerando o local de uso da madeira;

¹MORESCHI, M.; PROPRIEDADES DA MADEIRA. Apostila. Dpto. Engenharia Florestal da UFPR. p. 167. 2010.

- verificar o teor de umidade das peças do lote, por amostragem, empregando medidores elétricos (ensaio não destrutivo), ou pelo método de perda de massa em estufa (ensaio destrutivo). Este último, apesar de ser mais preciso, requer equipamentos de laboratório e é bem mais demorado.

3.4.3 Estabilidade Dimensional

A madeira está sujeita a alterações dimensionais quando no processo de secagem, atinge percentagens de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Estas variações dimensionais, não ocorrem de igual modo em todas as peças de madeira, levando ao aparecimento de fendas e empenamentos. O valor da retração radial é bem menor que o da retração tangencial, sendo que para algumas espécies este valor é duas vezes menor, a retração longitudinal é de ordem tão pequena que alguns autores recomendam que seja desprezada, pois não tem efeitos práticos.

As variações dimensionais provocadas pela contração e pelo inchamento da madeira constituem, juntamente com a anisotropia, características que limitam o uso da madeira dependendo da magnitude e da finalidade desejada (DURLO & MARCHIORI, 1992). A contração e o inchamento resultam das alterações na quantidade de água higroscópica presente nas paredes celulares, ou seja, na perda ou ganho de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Esta instabilidade dimensional, proveniente de sua característica higroscópica, provoca alterações nas propriedades físicas e mecânicas. Quanto maiores forem os valores dos coeficientes de retração, maiores são as variações dimensionais, originando fendas e empenamento nas peças de madeira.

3.4.4 Retratibilidade

A retratibilidade é o fenômeno da variação dimensional da madeira, quando há alteração no seu teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), (IPT, 1985). O princípio da retratibilidade se deve ao fato de as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissarídeos que formam a madeira, quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço, forçando as microfibrilas a se reaproximar, causando a contração da madeira. A expansão ocorre em um

fenômeno inverso. Quando a água adsorvida pela madeira, penetra entre as microfibrilas, causa o afastamento delas e o conseqüente inchamento da peça.

Segundo Kollmann & Côté Jr (1968), a diferença entre a retratibilidade tangencial e a radial pode ser explicada pela influência restritiva dos raios na direção radial e também pelo diferente arranjo helicoidal das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais. A relação entre a contração tangencial e radial é a anisotropia, que é a seguir, descrita em maiores detalhes.

3.4.5 Anisotropia

Para Chies (2005), o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R). O coeficiente de anisotropia, segundo Nock *et al*, (1975); Logsdon *et al*, (2008), é usado na indicação da qualidade da madeira quanto aos defeitos oriundos da secagem. De uma maneira geral, quanto mais baixa esta razão, isto é, quanto mais próximo de um, melhor é a espécie para marcenaria (SCANAVACA & GARCIA 2004, p.121). Uma anisotropia de contração igual a 1 representa uma alteração igual de dimensões nos sentidos radial e tangencial, situação considerada ideal e que não provocaria formação de tensões internas (DURLO & MARCHIORI, 1992).

A importância deste fenômeno se deve às implicações de ordem prática, como indicação precisa de espécies para aplicações onde a estabilidade dimensional seja fator importante. Por outro lado, o estudo das características da movimentação da madeira tem permitido o aproveitamento de espécies menos estáveis, para obter produtos de alta estabilidade como compensados (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985). Segundo Chies (2005) o fator anisotrópico, tomado de forma isolada, não caracteriza uma madeira como sendo estável, causando, ao contrário uma falsa sensação de estabilidade. Coeficientes de anisotropia de contração baixos, oriundos de contração tangencial e radial elevadas, revelam uma madeira com alta instabilidade dimensional (CHIES, 2005). A Tabela 1, a seguir, apresenta os coeficientes para avaliação da qualidade da madeira segundo sua anisotropia:

TABELA 1: COEFICIENTE DE ANISOTROPIA.

Coeficiente de Anisotropia	Qualidade de Madeira
> 1,5	Madeira muito estável
1,6 – 2,0	Média Baixa
2,0 – 2,5	Média Alta
> 2,6	Madeira muito instável

Fonte: Tomaselli & Klitzke (2000)

3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Para Tsoumis (1991), as propriedades mecânicas da madeira são a medida da sua resistência a forças exteriores, podendo ser definidas como aquelas relacionadas ao comportamento elástico e inelástico de um material quando nele são aplicadas forças. A resistência da madeira a tais forças depende da magnitude das mesmas e da maneira como é feito o carregamento. Desta forma, justifica-se o interesse na determinação das propriedades mecânicas da madeira, devido a necessidades econômicas e de segurança como por exemplo, dos vários componentes que formam os conjuntos estruturais.

As propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, estado de deterioração, massa específica, constituição anatômica, falhas na madeira, presença de nós e outros (KOLLMANN & CÔTÉ Jr 1968).

3.5.1 Módulo de Elasticidade (MOE)

O Módulo de Elasticidade é um valor teórico que expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm² de área de secção transversal a uma distância igual ao seu próprio comprimento. Apesar de ser um valor teórico é amplamente utilizado na classificação de madeiras. O MOE é determinado como o valor recíproco da relação entre a deformação elástica total (obtida no limite proporcional LP) e a carga aplicada através de ensaios de flexão estática, tração ou compressão. Os valores a serem utilizados em cálculos podem ser diretamente obtidos nos gráficos que expressam a relação carga x deformação, e a partir de dados de leituras efetuadas em relógio deflectômetro (WOOD HANDBOCK, 1999).

A capacidade da madeira em resistir à deformação imposta por uma determinada carga é definida como rigidez. Ela é expressa numericamente através do módulo de elasticidade, e em ensaios de flexão estática com dois apoios e um ponto de aplicação de carga, este valor é obtido através da equação:

$$\text{MOE} = (P_L \cdot L^3) / (4 \cdot d \cdot b \cdot h^3)$$

Onde:

MOEa = Módulo de Elasticidade Aparente (N/mm²)

P_L = carga no limite proporcional (N)

L = comprimento do vão (mm)

d = deformação correspondente à carga no limite proporcional (mm)

b = largura do corpo de prova (mm)

h = altura do corpo de prova (mm)

3.5.2 Módulo de ruptura - MOR

A resistência de um material é definida como o esforço máximo que ocorre antes ou no momento da ruptura, sendo expressa em termos de esforços por unidade de área, através do Módulo de Ruptura. Este valor expressa o esforço máximo nas fibras verificado nos extremos superior e inferior da seção transversal da viga. Alguns materiais possuem considerável amplitude de resistência entre o limite elástico e a resistência máxima, no entanto essa faixa de resistência chamada inelástica não é considerada na aplicação da teoria de resistência para vigas estruturais de madeira, por ser esta faixa, muito variável com relação a outros materiais de construção como o aço.

Testes em madeiras da mesma espécie e dimensões resultam em considerável variação nos valores de resistência. Os valores dos Módulos de Ruptura são utilizados para a obtenção de tensões admissíveis para as diversas formas de utilização da madeira. O Módulo de Ruptura pode ser obtido em testes de flexão estática, com corpo-de-prova bi apoiado por meio de aplicação de carga no centro do vão, para o cálculo utiliza-se a fórmula:

$$\text{MOR} = (P \cdot L) / (b \cdot h^2)$$

Onde:

MOR = Módulo de Ruptura (N/mm²);

P = carga máxima (N);

L = distância entre apoios (mm);

b = largura do corpo-de-prova (mm);

h = altura do corpo-de-prova (mm).

Para Scanavaca e Garcia (2004), o módulo de ruptura e o módulo da elasticidade são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça.

3.5.3 Flexão Estática

Para entender a flexão é preciso imaginar uma peça de madeira, com as fibras orientadas paralelamente ao seu comprimento, sendo deformada em forma de arco circular, por ação de uma carga externa. Esta deformação provoca o encurtamento das fibras no lado côncavo e um alongamento, no lado convexo. Portanto, as fibras no lado côncavo estão comprimidas e, no lado convexo, tracionadas. O ponto onde se encontra a inversão de tensão é conhecido como linha neutra (ROCHA, PAULA & SIQUEIRA, 1988).

Quando a madeira é solicitada à flexão simples, ocorrem as tensões: compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal na região dos apoios, compressão normal às fibras tais tensões podem ser vistas na Figura 1. A ruptura em peças de madeira solicitadas à flexão ocorre pela formação de minúsculas falhas de compressão seguidas pelo desenvolvimento de enrugamentos de compressão macroscópicos. Este fenômeno gera o aumento da área comprimida na seção e a redução da área tracionada, podendo eventualmente, romper por tração (CALIL, LAHR & DIAS, 2003).

O ensaio de flexão estática consiste em aplicar uma carga no meio do corpo de prova que repousa sobre dois apoios, causando tensão e deformação até a ruptura. A figura 1 ilustra o teste e os esforços envolvidos.

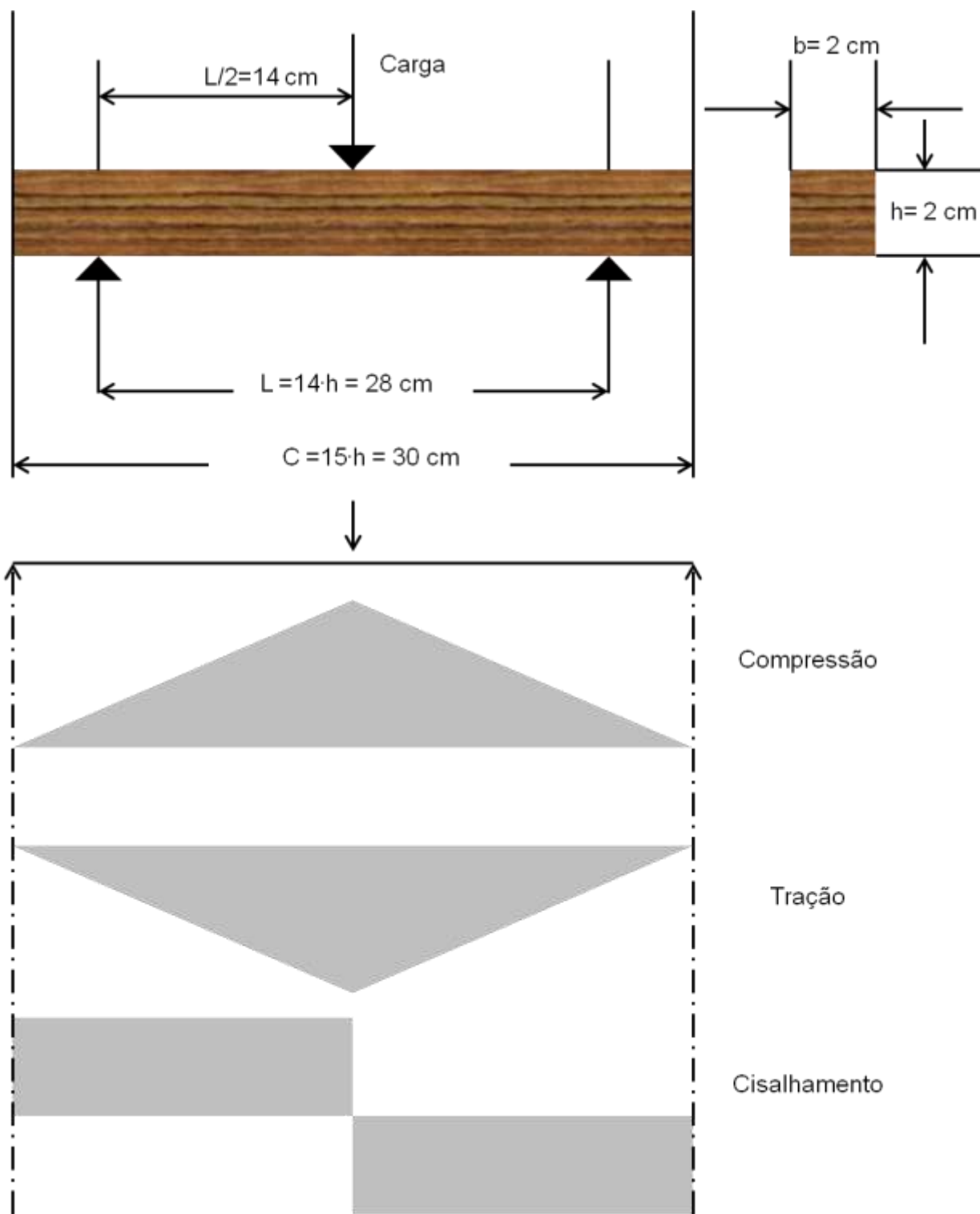


FIGURA 1: ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA NA MADEIRA
Fonte: Adaptado de Calil *et al*, (2003).

Para a determinação dos resultados faz-se a leitura da carga aplicada (a uma velocidade constante e contínua, normalmente 1 mm/s) em N e a deformação correspondente. Com os dados obtidos da leitura, pode-se elaborar um diagrama de carga e deformação, e por meio de uma reta tangente, pode-se calcular o MOE à flexão estática, a resistência no limite proporcional e a resistência máxima do material, que corresponde a carga máxima no momento da ruptura.

3.5.4 Resistência na Compressão Paralela e Perpendicular às Fibras

A compressão paralela ou normal às fibras é avaliada com a aplicação de uma carga no sentido das fibras da madeira, com velocidade controlada, até a sua ruptura. Da mesma forma que para a determinação da flexão estática, nesta avaliação é usual a determinação do limite de elasticidade, para cálculo do módulo de elasticidade ao esforço a compressão paralela às fibras (WOOD HANDBOOK, 1999). Segundo Calil *et al*, (2003), quando a peça é submetida à compressão paralela às fibras, as forças agem paralelamente à direção dos elementos anatômicos responsáveis pela rigidez da madeira, conferindo maior resistência. Para a determinação do módulo de elasticidade e da resistência máxima à compressão paralela, utiliza-se da tabela de carga e deformação ou do gráfico confeccionado com estes valores para a determinação do limite de proporcionalidade e da carga aplicada correspondentes (WOOD HANDBOOK, 1999).

A compressão perpendicular às fibras ocorre frequentemente, na região de apoio em peças estruturais. Nestas regiões, as forças aplicadas são relativamente altas, em função de sua constituição anatômica, este sentido apresenta menor resistência, comparada com a resistência à compressão paralela, (MORALES, 2010). Os valores de resistência à compressão normal às fibras são da ordem de $\frac{1}{4}$ dos valores apresentados pela madeira na compressão paralela (CALIL *et al*, 2003). O teste consiste em aplicar uma carga sobre um corpo de até o alcance do limite proporcional. Isto ocorre por não existir uma resistência máxima neste sentido da madeira. A tensão no limite de proporcionalidade é obtida pela divisão da carga aplicada no limite proporcional pela área da secção transversal.

3.5.5 Dureza Janka

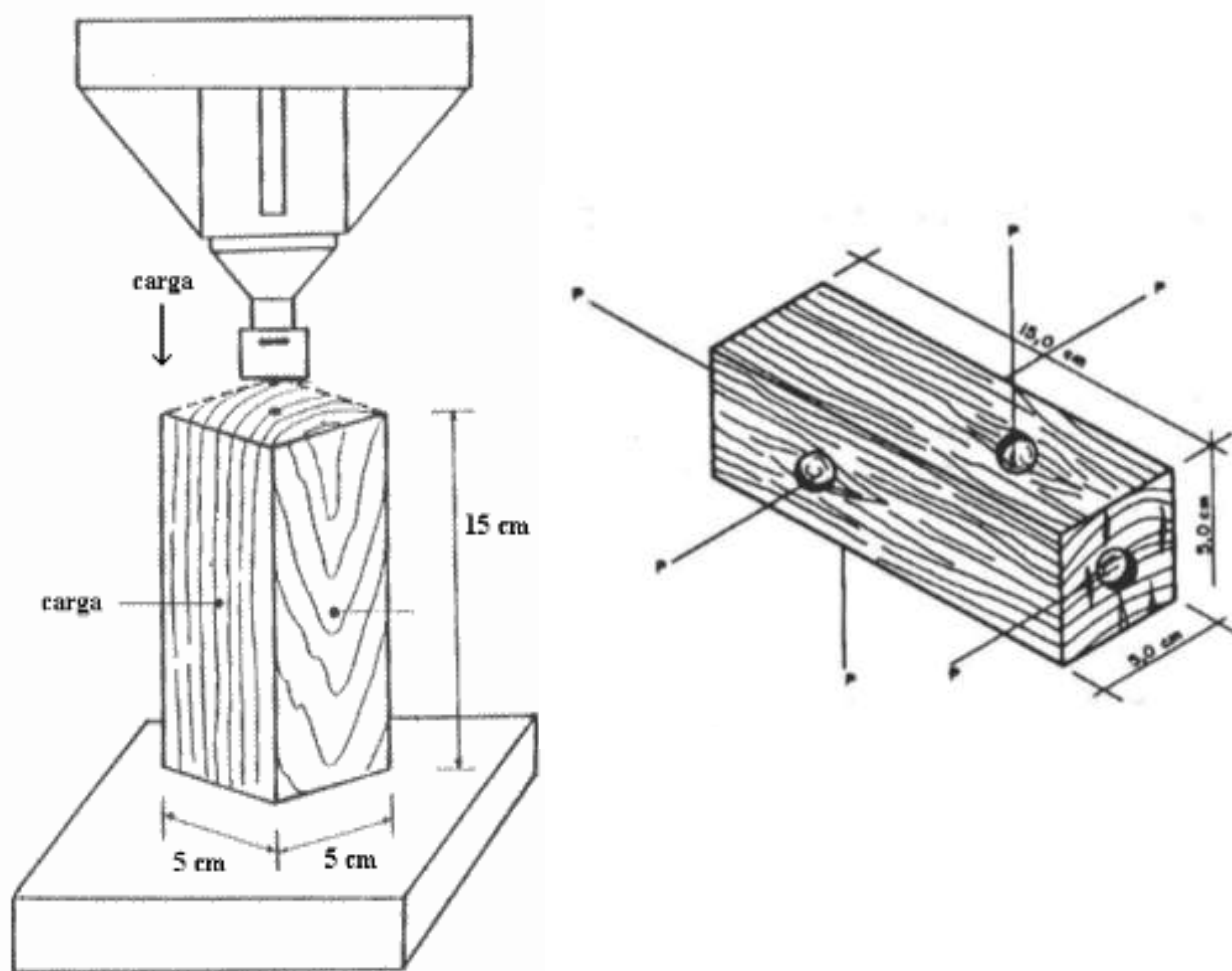
A dureza superficial dos materiais é mensurada por meio da relação entre força aplicada para endentação superficial de um instrumento no material e a correspondente profundidade de penetração superficial obtida. As características e fatores implícitos neste tipo de teste, há muito tempo, tem sido descritas por vários autores como Brinell, (1900); Janka, (1906); Mörat, (1932) e Kollmann e Côté Jr, (1968), citados por Holmberg (2000). A tabela 2 apresenta os principais métodos de medição da dureza nos materiais, dividindo-os em dois grupos. O primeiro grupo é caracterizado por medir a força necessária à penetração de uma peça - uma esfera, por exemplo - com deformação previamente especificada. O segundo grupo é caracterizado por medir a deformação (penetração) causada por um instrumento com dimensão e carga de penetração pré-estabelecidos.

TABELA 2 – DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA DUREZA EM MATERIAIS POR TIPOS DE INSTRUMENTOS DE PENETRAÇÃO E MEDIDAS AVALIADAS.

Método	Instrumento de penetração							Medida Avaliada	
	Esfera	Cilindro	Cunha	Prisma	Cone	Prego	Agulha	Área	Força
Brinell	x							x	
Janka	x								x
Stamer	x							x	x
Krippel	x							x	
Chalais Meudon		x							x
Vickers				x				x	
Büsgen						x			x
Hoppler					x			x	
Doyle Walker			x					x	
Meyer Wegelin							x		x
Monnin		x						x	
Shöre							x		x

Fonte: Adaptado de Holmberg (2000)

Nos ensaios de dureza, a endentação no material pode ser obtida com o uso de vários instrumentos, na madeira em particular, utiliza-se o método Janka. Este método consiste em avaliar o esforço necessário para introduzir nas faces dos corpos-de-prova, uma esfera de 1 cm² de área diametral, a uma profundidade igual a seu raio. São realizadas seis determinações, sendo 2 em cada um dos planos tangencial, radial e transversal (sentido axial). O esforço da penetração é medido em quilogramas e, devido à área diametral da esfera ser de 1 cm², este valor é obtido diretamente em N/mm² (WOOD HANDBOOK, 1999). A Figura 2, ilustra o teste de dureza Janka.



Fonte: MORALES, (2010)

FIGURA 2 - ENSAIO DE DUREZA JANKA.

A dureza, assim como as outras propriedades de resistência da madeira é comumente utilizada como ferramenta na caracterização de espécies florestais. Isto ocorre devido a esta propriedade apresentar boas correlações com outras importantes propriedades mecânicas, como por exemplo, a compressão perpendicular e normal às fibras (COLENCI, 2002). Estudos pioneiros sobre a dureza Janka da madeira foram realizados pelo IBAMA em 1993 utilizando-se de 68 espécies nativas da floresta amazônica.

3.6 AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE MATERIAIS

A avaliação não destrutiva é definida como a ciência dedicada à identificação das propriedades físicas e mecânicas de um determinado material, sem alterar sua capacidade de uso futuro (ROSS *et al.*, 1998). Vários métodos podem ser utilizados para avaliação da qualidade da madeira, as técnicas não destrutivas frequentemente são utilizadas para este fim.

Segundo Castelo, (2005), todo método não destrutivo usa alguma forma de propagação de energia através ou em volta do material, visando deduzir alguma característica. Schad *et al.* (1996), afirma que essa energia pode resultar de cargas estáticas, dinâmicas, e pode ser gerada por ondas eletromagnéticas ou elásticas. Não existem grandes restrições quanto ao método a ser usado, no entanto é prudente ponderar sobre o método que seja mais adequado para cada material e situação.

Várias técnicas podem ser consideradas não destrutivas, desde o exame visual até os ensaios químicos, testes mecânicos, técnicas de vibração, propagação de ondas, emissões acústicas e raios x. Segundo Puehringer, (2002), os métodos podem ser baseados em: propagação do som, instrumentos de medidas, células fotoelétricas, radiação, campo eletromagnético, condutividade elétrica, testes vibracionais e penetração de líquidos. De acordo com o método estes podem ser visuais, químicos, mecânicos, ópticos e acústicos. As vantagens que os métodos não destrutivos apresentam sobre os métodos tradicionais são: a possibilidade de utilização posterior da peça testada, o reduzido custo e a rapidez de realização do teste.

3.6.1 Métodos não destrutivos empregados na avaliação de materiais

3.6.1.1 Métodos Acústicos

Os métodos acústicos são reportados na literatura com os termos: ultra-som, ondas acústicas ou de tensão. A fundamentação dos métodos que utilizam ondas acústicas, sejam estas de tensão ou ultra-sônicas, foi proposta por JAYNE citado por Ross e Pellerin, (1994), e baseia-se na constatação de que as propriedades de armazenamento e dissipação de energia nos materiais, são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento estático. Desta forma, pode-se supor que as respostas dos materiais à estímulos mecânicos, sonoros ou eletromagnéticos apresentam estreita relação com características de interesse tecnológico como variáveis físicas e mecânicas.

Uma onda sonora pode ser propagada dentro de um material por diversas formas. O som pode ser produzido pelo próprio material, estes sons e sua propagação estão relacionados ao efeito dinâmico de qualquer defeito dentro do material, podendo portanto ser previsto por meio de correlações. A fundamentação desta técnica é baseada em uma propriedade da madeira chamada piezoelectricidade, que é a capacidade de alguns materiais gerarem corrente elétrica por resposta a uma pressão mecânica. Metodologias baseadas neste princípio são conhecidas como emissão acústica de inspeção, onde são utilizados transdutores piezoelétricos para detecção do som.

De outra maneira, o som pode ser gerado pelo contato de um transdutor, e as ondas geradas, recebidas por um segundo transdutor. Quando as ondas são refletidas para o transdutor que as produziu, estas são normalmente de frequência superior às audíveis e, por isso, o método é chamado teste ultra-sônico. Nos casos onde a produção das ondas se dá por impacto, com um instrumento tal como um martelo, ondas elásticas ou de tensão percorrem o interior do material.

Metodologias de avaliação não destrutiva por meio de ondas de tensão são objeto de estudos a mais de 30 anos, sendo este um dos métodos acústicos mais utilizados. Neste método as ondas sonoras são geradas normalmente por meio de impacto ou de vibração forçada (SHIMOYAMA, 2005). Segundo Puehringer (2002), devido a

dificuldades na indução de vibrações forçadas, a maior parte das avaliações tem sido feitas com base no método de impacto.

A aplicação e medição das ondas de tensão consiste no posicionamento de dois transdutores no material a ser avaliado. Uma onda é induzida ao material por meio do choque de um martelo, pêndulo ou outro material. Quando a onda alcança o acelerômetro de partida, uma contagem de tempo é iniciada, quando esta atinge o acelerômetro de parada, a contagem de tempo cessa e o aparelho registra e mostra o tempo decorrido no trânsito da onda entre os acelerômetros (SCHAD *et al.*, 1996; MATOS, 1997).

3.7 ESTADO DA ARTE

Puehringer (1999), avaliando tábuas de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com o método de ensaio não destrutivo com aplicação de ondas de tensão, base de funcionamento do aparelho denominado Stress Wave Timer, modelo 239 A, da METRIGUARD, determinou elevadas correlações entre os resultados dos ensaios e os resultados das avaliações destrutivas com uso de corpos de prova. O autor comparou os valores das avaliações destrutivas com o método de ensaio não destrutivo através da máquina pneumática de classificação com carga controlada manualmente denominada Stress Grading Machine, modelo MK III. Através das deformações medidas, da carga aplicada, e das dimensões das peças, determinou-se o módulo de elasticidade medido na porção média das tábuas.

Matos e Puehringer (2000) utilizaram o aparelho Stress Wave Timer, para determinação da velocidade de propagação da onda acústica, que no caso foi de 338 microssegundos em média para tábuas de *Eucalyptus sp* de 2,5 cm de espessura, 10 cm de largura e 180 cm de comprimento. Michelotti (2000), utilizou o mesmo aparelho para avaliar cinco espécies de *Pinus* tropicais, entre elas *Pinus caribaea hondurensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii* com idade de 10 anos estabelecendo diferenciações claras entre as espécies com base no tempo e velocidade de propagação das ondas.

Galligan *et al.*, (1967), classificou toras de “Douglas-fir” (*Pseudotsuga menziesii*) com relação às propriedades mecânicas, com excelentes resultados. Outros autores

mostraram correlações entre 0,44 e 0,89 para o módulo de elasticidade e as velocidades de propagação das ondas (ROSS, *et al.*, 1998; SANDOZ; LORIN, 1994). Ross *et al.*, (2000), investigaram o uso da emissão acústica para avaliar o módulo de elasticidade dinâmico em postes de pequeno diâmetro. Os resultados demonstraram haver fortes correlações entre as propriedades determinadas pelos métodos de emissão acústica e flexão estática, comprovando a eficácia desta técnica. Wang *et al.*, (2002), avaliaram o efeito do diâmetro na avaliação do módulo de elasticidade de postes. Os resultados indicam que o método de ondas de tensão é sensível ao tamanho e às imperfeições geométricas dos postes. Com o aumento do diâmetro do poste ocorre um desvio maior entre os módulos de elasticidade obtidos nos métodos de ondas de tensão e flexão estática.

Calori e Dias (2000) empregaram o ultra-som na determinação da massa específica básica da madeira de árvores em pé visando redução de custos. Pio (2002) lançou mão da técnica de ensaios não destrutivos com aplicação de ondas de tensão para classificação de lâminas de *Eucalyptus grandis*. As lâminas foram agrupadas, previamente à montagem dos painéis, por classes de rigidez em árvores de 15 e 20 anos. Os resultados obtidos atestam que a utilização da pré-classificação das lâminas gera diferenças em termos de qualidade e resistência dos painéis. Rosa (2000) buscou relações entre os métodos de avaliação não destrutiva e tradicional para painéis compensados e estabeleceu classes de qualidade.

Matos (1997) empregou ondas acústicas para avaliar lâminas de *Pinus taeda* para a fabricação de painéis de lâminas paralelas (PLP), classificando-as em duas categorias distintas antes de montagem destes. O autor chegou a resultados favoráveis ao método de avaliação, comprovando a viabilidade técnica. Matos e Keinert Jr (1998) avaliaram a viabilidade de utilização de lâminas de *Pinus taeda* para produção de painéis estruturais de lâminas paralelas, através da classificação preliminar das lâminas em classes de qualidade, utilizando método não destrutivo com aplicação de ondas de tensão. Outros estudos para classificação de lâminas, por meio de emissão de ondas acústicas, com resultados semelhantes, foram realizados anteriormente por Jung (1982), Cha (1994) e Rasnusseb (1994).

Bucur (1984) estudou a variação da velocidade de propagação de ondas ultrasônicas, em função da variação da seção transversal de corpos-de-prova de *Sapin Douglas (Abies alba)* de 0,30 m de comprimento, e com relação base/altura da seção transversal variando entre 1 e 14. Os resultados mostraram que a velocidade apresenta diferença de 12% quando se comparou a relação $b/h = 1$ e a relação $b/h = 14$. A velocidade máxima foi obtida para relações b/h entre 1 e 2, e a mínima para relações b/h entre 13 e 14. Os resultados mostraram ainda que as velocidades correspondentes às medidas obtidas na seção transversal do corpo-de-prova foram menos afetadas pela modificação da geometria da seção, e que para relações b/h de 10, a seção transversal não influenciou os valores de velocidade. Em todos os casos estudados, as dimensões dos corpos-de-prova nos quais se avaliou a propagação nas direções radial e tangencial, tinham dimensões mínimas. Por essa razão as velocidades não foram afetadas pela modificação no tamanho do corpo-de-prova.

Vários autores, (BUCUR, 1984, WAUBKE, 1981, SANDOZ, 1990, HERZIG, 1992, STEIGER, 1996, KOUBAA *et al.*, 1997, HERNÁNDEZ *et al.*, 1998, BARTHOLOMEU *et al.*, 1998, GONÇALVES e BARTHOLOMEU, 2000, OLIVEIRA e SALES, 2000; BARTHOLOMEU, 2001), comprovaram a eficiência do método de ultra-som para determinar as constantes elásticas da madeira. SANDOZ (1993) enfatizou o uso do ultra-som como um elemento complementar às normas que utilizam conceito de estados limites, já que nesse caso se poderia utilizar essa ferramenta para separar, inicialmente, a madeira em classes de resistência.

A tabela 3 apresenta alguns resultados de pesquisas que correlacionaram o módulo de elasticidade obtido em ensaios destrutivos de flexão estática com resultados obtidos por técnicas não destrutivas com aplicação de ondas acústicas.

TABELA 3 – TRABALHOS DEDICADOS A CORRELACIONAR PROPRIEDADES MECÂNICAS COM O TEMPO E/OU VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ACÚSTICAS.

Referência	Espécie	Coefficiente de Correlação
Hellmeister (2003)	<i>Pinus taeda</i> L.	R = 0,75
Puheringer (2003)	<i>Pinus taeda</i> L.	R = 0,80
Bartolomeu (2001)	<i>Pinus elliottii</i>	R = 0,85
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	R = 0,87
Oliveira (2001)	Cupiúba	R = 0,63
	<i>Eucalyptus grandis</i>	R = 0,14
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	R = 0,48
	Cupiúba	R = 0,79
Machado (2000)	Jatobá	R = 0,76
	<i>Pinus maritima</i>	R = 0,63
Carrasco e Oliveira (1999)	Maçaranduba	
	Jatobá	R = 0,74
Nogueira (2003)	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	
	<i>Pinus taeda</i>	R = 0,94
Baradit <i>et al.</i> , (1998)	<i>Pinus radiata</i>	R = 0,79

Fonte: adaptado de Miná *et al.*, (2004)

Dentre os trabalhos realizados com espécies amazônicas, o trabalho pioneiro utilizando a técnica de emissão de ondas de tensão, foi de Van Der Slooten e De Paula, (1984), que avaliaram as propriedades mecânicas de nove espécies, para uso estrutural. Recentemente Del Menezzi *et al.*, (2010), utilizando a mesma técnica, porém com o uso do aparelho Strees Wave Timer, avaliaram as propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas.

3.8 CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA

3.8.1 Classificação visual

Segundo Carreira e Dias (2006), a classificação visual considera que as propriedades mecânicas de uma peça estrutural de madeira diferem das propriedades mecânicas de madeiras isentas de defeitos devido a certas características de crescimento, tais características podem ser vistas e julgadas pelo olho humano. Com o auxílio de regras de classificação, as características de crescimento são usadas para selecionar a madeira em classes de qualidade visual. As primeiras regras de classificação foram publicadas em 1923, nas primeiras versões do *Wood Handbook*, onde também estavam indicados alguns valores de referência. Estes valores de resistência, determinados para a melhor madeira cortada de uma árvore, foram usados sem quaisquer alterações por mais de 20 anos, (CARREIRA & DIAS, 2006).

Segundo estes mesmos autores as regras de classificação são escritas por uma associação de indústrias que representam uma área onde determinadas espécies são recolhidas. A associação de indústrias é conhecida por fornecer um serviço de qualidade tal como a supervisão do material classificado de acordo com as regras de classificação nas serrarias associadas. No entanto, a própria norma adverte que a razão de resistência é uma relação hipotética entre a resistência de uma peça de madeira com características visíveis de crescimento que reduzem sua resistência, e a resistência de um corpo-de-prova isento de defeitos desta mesma madeira. Segundo MADSEN (1992), o conceito de razão de resistência é realmente hipotético, pois os efeitos das características de crescimento não são completamente compreendidos e são somente aproximados, algumas vezes usando considerações grosseiras.

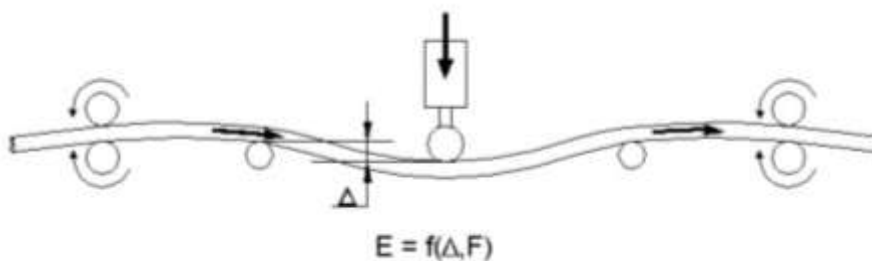
Segundo MADSEN (1992), a norma ASTM D245-93 trata somente da classificação estrutural, além disso, é limitada à classificação visual, que na América do Norte é feita em 95 a 98% da madeira produzida. De acordo com esse mesmo autor a quantidade de material classificado de acordo com as regras de classificação baseadas na norma ASTM D245-93 é estimada em 235.000.000 m³/ano com um valor de aproximadamente 10 bilhões de dólares.

3.8.2 Classificação Mecânica

A classificação mecânica é o processo pelo qual a madeira é avaliada por meio de um teste não destrutivo, seguido de uma inspeção visual para avaliar certas características que a máquina não pode avaliar adequadamente, (CARREIRA & DIAS, 2006). A classificação mecânica por tensões (MSR), a avaliação mecânica da madeira (MEL), e a *E-rated* são os três tipos principais de classificação mecânica. Segundo Galligan & McDonald (2000), o maior esforço que tornou a classificação mecânica um método industrial possível foi realizado por *Potlatch Forest, Inc. (Lewiston, Idaho)*, *Western Pine Association (Portland, Oregon)*, *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Melbourne, Australia)*, e pelo *Timber Research Unit of the Council for Scientific and Industrial Research in South Africa*.

Cada uma destas organizações produziu uma máquina de classificação comercial, usando essencialmente os mesmos princípios das relações entre a rigidez da madeira e sua resistência à flexão, que permite um sistema de classificação menos orientado para as espécies, do que o sistema visual de classificação. Os primeiros testes com a máquina de classificação por tensões demonstraram a necessidade de alterações. Conseqüentemente, procedimentos de controle de qualidade foram formalizados e a inspeção da classificação mecânica tornou-se responsabilidade das agências de classificação da mesma maneira como a classificação visual. (CARREIRA & DIAS, 2006).

Segundo Carreira e Dias (2006), a maior barreira para o crescimento do sistema de classificação mecânica por tensões é a competição comercial com a classificação visual. Os dois sistemas, que funcionam diferentemente, podem “discordar” em qual classe a madeira deve ser classificada. O teste não destrutivo é altamente automatizado, e o processo requer muito pouco tempo. Ao entrar na máquina, a madeira passa por uma série de rolos. Neste processo, uma força provocando flexão é aplicada perpendicular ao eixo de menor inércia da seção transversal da peça e o módulo de elasticidade de cada peça é medido. Esta máquina é limitada a classificação de materiais finos (espessura de 38 mm ou menos).



Fonte: Carreira *et al* (2004)

FIGURA 3 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA MSR.

Entre as demais técnicas utilizadas para classificações empregadas, estão avaliações não destrutivas por meio técnicas acústicas, como a técnica de ondas de tensão, anteriormente citada entre outros métodos conforme Puehringer, (2002). Os princípios de avaliação por meio de técnicas acústicas são os mesmos embora os procedimentos possam variar de acordo com o aparelho utilizado.

3.9 Análise Fatorial

A análise fatorial refere-se a uma variedade de técnicas relacionadas para tornar os dados observados mais facilmente (e diretamente) interpretados. Isto é feito por meio da análise dos inter-relacionamentos entre as variáveis de tal modo que estas possam ser descritas convenientemente por um grupo de categorias básicas, em número menor que as variáveis originais, chamado fatores. Assim, um dos objetivos da análise fatorial é a parcimônia, procurando definir o relacionamento entre as variáveis de modo simples e usando um número de fatores menor que o número original de variáveis.

Outro objetivo é explicar a estrutura de variância de um vetor aleatório, de maneira a resumir a informação sobre esta estrutura de relacionamento, a matriz de correlação utilizada como entrada nesta análise trabalha com variáveis padronizadas e portanto, elimina o problema de escala que pode ocorrer com as magnitudes das variáveis. Considerando esta característica do método, as variações inerentes a cada espécie ou mesmo variações entre as toras da mesma espécie não interferem na análise. Assim foi feita uma única análise para todas espécies.

Desta análise resulta uma matriz com um número de variáveis não observáveis na estrutura original de relacionamento, chamados fatores, estes são modelados por

combinações lineares das variáveis originais. O objetivo é que um pequeno número de fatores possa ser usado no lugar das variáveis originais, fazendo com que a matriz de dados fique sensivelmente reduzida e de mais fácil interpretação quanto à estrutura de variância. Para extração destes fatores iniciais: há diferentes métodos, um desses, o das componentes principais é um dos mais empregados.

3.10 Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais ou principal component analysis (PCA) é um procedimento matemático que utiliza uma transformação ortogonal para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas a um conjunto de valores de variáveis linearmente descorrelacionadas chamadas componentes principais. O número de componentes principais é menor ou igual ao número de variáveis originais. A análise de componentes principais é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais, (REGAZZI, 2000).

Os componentes principais apresentam propriedades importantes: cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. A análise de componentes principais é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados. Esta técnica pode ser utilizada para geração de índices e agrupamento de indivíduos (KHATTREE e NAIK, 2000). A análise agrupa os indivíduos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo, ou seja, a técnica agrupa os indivíduos de uma população segundo a variação de suas características. (JOHNSON e WICHERN, 1999).

3.11 Análise de Agrupamentos

A análise de agrupamento é uma técnica multivariada que tem por objetivo proporcionar uma ou várias partições na massa de dados, em grupos, por algum critério de classificação, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre grupos (Sneath & Sokal, 1973; Mardia et al., 1997). Essa técnica sumariza dados para interpretação e utiliza métodos que procuram grupos excludentes, ascendentes, reduzindo as informações de um conjunto de n indivíduos para informações de um novo conjunto de g grupos, onde g é significativamente menor que n , resultando um dendrograma de exclusão (Mardia et al., 1997).

Segundo Aaker et al. (2001), a premissa mais importante da análise de agrupamento é a de que a medida de similaridade ou dissimilaridade na qual o processo de agrupamento se baseia é uma medida válida de similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos. A segunda premissa mais importante é a de que existe uma justificativa teórica para estruturar os indivíduos em grupos. Como em outras técnicas multivariadas, também há teoria e lógica guiando e dando base à análise de agrupamento.

Na análise de agrupamento, é fundamental ter particular cuidado na seleção das variáveis de partida que vão caracterizar cada indivíduo, e determinar, em última instância, qual o grupo em que deve ser inscrito. Nesta análise não existe qualquer tipo de dependência entre as variáveis, isto é, os grupos se configuram por si mesmo sem necessidade de ser definida uma relação causal entre as variáveis utilizadas. Genericamente, a análise de agrupamento compreende cinco etapas (Aaker et al., 2001):

- I. A seleção de indivíduos ou de uma amostra de indivíduos a serem agrupados;
- II. A definição de um conjunto de variáveis a partir das quais serão obtidas informações necessárias ao agrupamento dos indivíduos;
- III. A definição de uma medida de semelhança ou distância entre os indivíduos;
- IV. A escolha de um algoritmo de partição/classificação;
- V. Validação dos resultados encontrados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no município de Itacoatiara, no Estado do Amazonas, a 227 km de Manaus. O acesso à propriedade é feito pela estrada Estadual da Várzea, km 227 da Rodovia Torquato Tapajós AM-010. A propriedade está localizada entre os paralelos 2° 43' e 3° 04' latitude Sul e as longitudes 58° 31' e 58° 57' Oeste de Greenwich, compreendendo uma área total de 122.729 hectares.

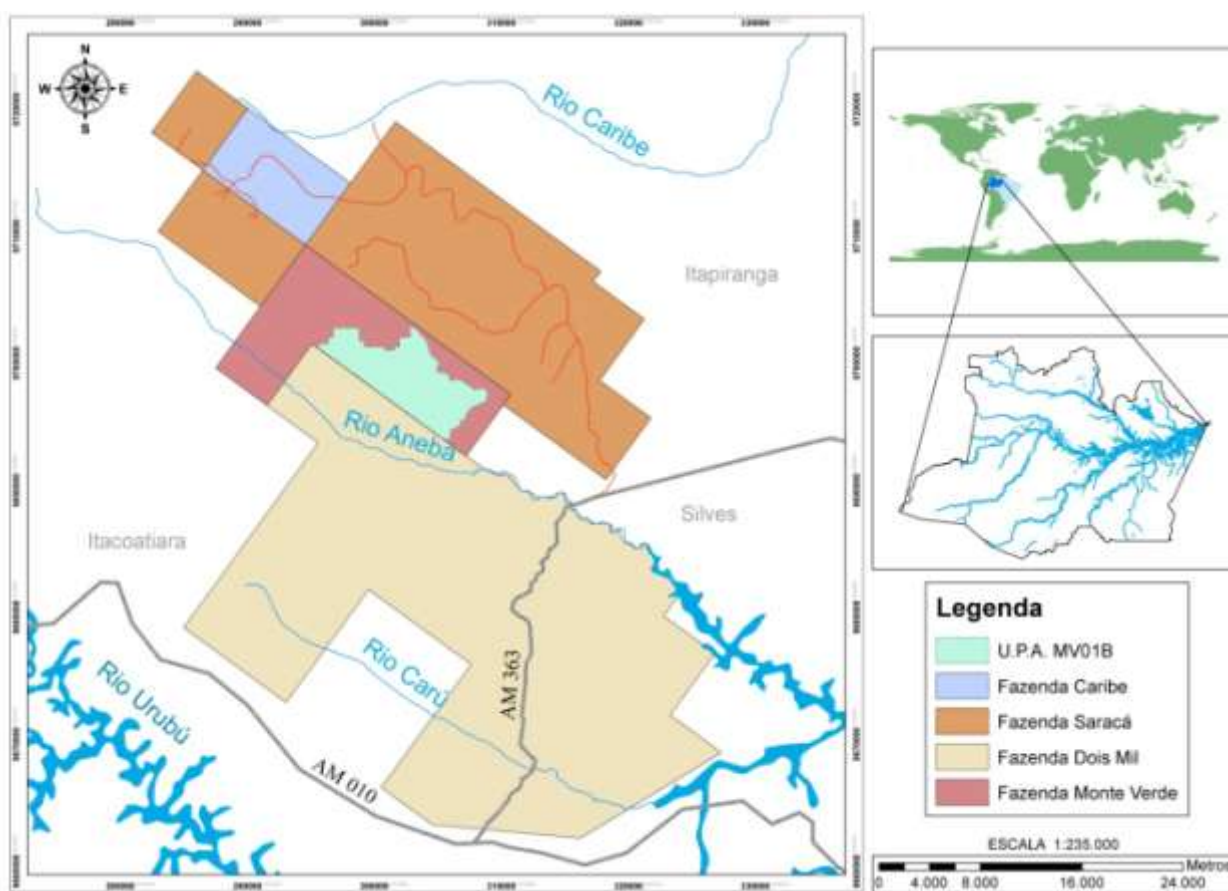


FIGURA 4 – MAPA DA ÁREA MANEJADA PELA EMPRESA PRECIOUS WOODS AMAZON.

Segundo o RadamBrasil (1978), a floresta da área de estudo é classificada como Floresta Tropical Fechada de Terras Baixas, pertencente à sub-região dos baixos platôs da Bacia Amazônica. Esta floresta caracteriza-se em função de um clima quente com elevadas precipitações. A área de estudo está em floresta de terra firme, que segundo Pires-O'Brien e O'Brien (1995), caracterizam-se por ocorrer em áreas não sujeitas a inundações, apresentando predominantemente árvores altas (mais de 25 m de altura), copa fechada, abundância de lianas, sub-bosque aberto e elevada biomassa. Os platôs são bem drenados e abrigam uma floresta significativamente mais densa do que nos declives e nos Igapós (vegetação inundada ao longo dos cursos de água).

O clima do local está classificado, segundo Koeppen, como Grupo Climático A (Clima Tropical Chuvoso). A precipitação pluviométrica anual é de cerca de 2200 mm, com menor volume mensal entre agosto e outubro. A temperatura média é de 26 °C e a umidade relativa do ar é de 80%. Os solos estão classificados no grupo dos Latossolos Amarelos Distróficos, de acordo com o Mapa Geral de Solos do Brasil, apresentando baixa fertilidade natural, alta toxidez de alumínio, e solos de textura argilosa. Os solos dos platôs e encostas apresentam um alto conteúdo de argila, porém os da encosta apresentam uma camada superficial arenosa. Ao longo dos maiores cursos de água ocorrem extensas áreas de depósitos de areia de quartzo branco, profundas e puras, como por exemplo, do Rio Caru (Itacoatiara-AM).

O relevo é um planalto dissecado, com platôs levemente inclinados, e encostas bastante íngremes, com 5 a 20 m de profundidade e declives de até 40 m. O ponto mais alto no mapa topográfico da propriedade é encontrado a cerca de 130 m, e o mais baixo de 40 m. Os rios Anebá e Carú fazem a drenagem da região, em um sistema de fluxo no rumo à sudeste, desaguando no rio Urubu, que por sua vez deságua no rio Amazonas. O rio Anebá, no limite norte da área, alcança uma largura de até 10m, sendo navegável para pequenas embarcações. Sua área de drenagem é de, aproximadamente, 1500 Km². O rio Carú, um pouco menor, drena a maior parte da área de manejo, drenando cerca de 800 Km².

4.2 COLETA DE DADOS

Inicialmente pretendia-se analisar dados de apenas uma espécie, assim a escolha das árvores amostra foi feita aleatoriamente em meio às toras dispostas no pátio com base em identificação preliminar. De cada árvore retirou-se uma tora de 2,0 metros, as quais foram transportadas para Manaus, para retirada de pranchas orientadas e confecção dos corpos de prova para realização das análises subseqüentes. As figuras a seguir ilustram as atividades referentes ao manuseio das toras no pátio da empresa e transporte até as dependências do INPA.



Figura 5a – Traçamento das toras



Figura 5b – Manuseio no pátio da empresa



Figura 5c – Carregamento das toras



Figura 5d – Descarregamento nas dependências do INPA.

FUGURA 5 – MANUSEIO DAS TORAS NO PÁTIO DA EMPRESA E NAS DEPENDÊNCIAS DO INPA

As toras retiradas das árvores foram intercaladas entre as posições, da base e do topo das árvores. As toras foram identificadas para que posteriormente se pudesse fazer o rastreamento no banco de dados da empresa, permitindo recuperar informações referentes às datas e operações de colheita para cada árvore bem como localização geográfica, possibilitando relacionar os resultados dos testes com algumas características do local de onde as árvores foram retiradas.

4.3 IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA

Para identificação foi adotada a Norma Técnica n.º 15 do LPF – IBAMA/ICMBio/MMA, que dispõe sobre as normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira. Todo o trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Anatomia da Madeira do INPA. Das toras, foram retirados corpos de prova em formato de cunha com as seguintes dimensões: 6,0 X 0,5 cm para seção radial, 4,0 X 0,5 cm para a transversal e 6,0 X 4,0 cm para a tangencial. Os corpos-de-prova foram orientados nos respectivos planos de corte para posterior observação na lupa de bolso (aumento de 10x) e no micrótomo de deslize *American optical/R* modelo 860. A identificação foi realizada a partir dos caracteres macroscópicos por análise e comparação com amostras da xiloteca do LAM/INPA. Quando necessário, foram preparados cortes histológicos para confirmação da identificação, ou visualização mais nítida dos caracteres da madeira no micrótomo. A literatura utilizada para auxílio à identificação incluiu: Loureiro *et al.* (1994), Paula e Alves (1997). A Figura 6 a seguir ilustra o procedimento para identificação anatômica das espécies estudadas.

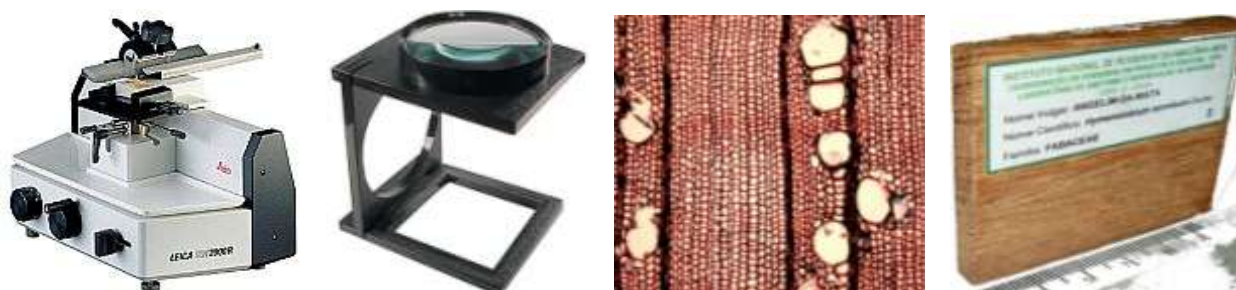


FIGURA 6 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA DE MADEIRAS

4.4 ESPÉCIES ESTUDADAS

As espécies foram identificadas conforme procedimentos descritos anteriormente, os laudos de identificação encontram-se em anexo. (ANEXO I, II e III). A seguir está uma descrição das espécies retirada do guia de identificação botânica da Reserva Florestal Adolpho Ducke.

- *Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub.

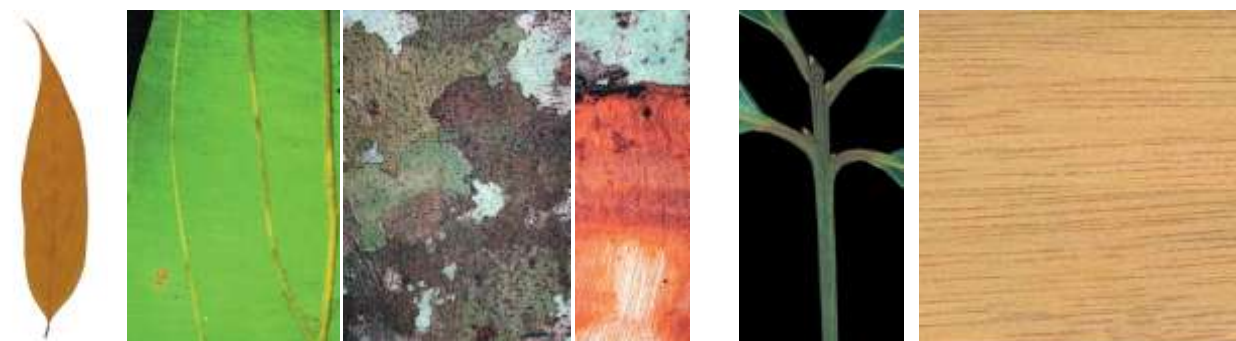
Árvore de dossel. Folhas (5-17 cm) de base atenuada. Secundárias de 8-14 pares. Face inferior com pontuações esbranquiçadas (lupa) e pêlos adpressos isolados. Pecíolo de 1-2,5 cm. Ocorre em solos argilosos, sendo mais comumente encontrada em área de Platô e vertente. Distribui-se na Bacia Amazônica e Guianas.



Fotos: Ribeiro *et al.* (1999).

- *Nectandra cuspidata* Nees & Mart.

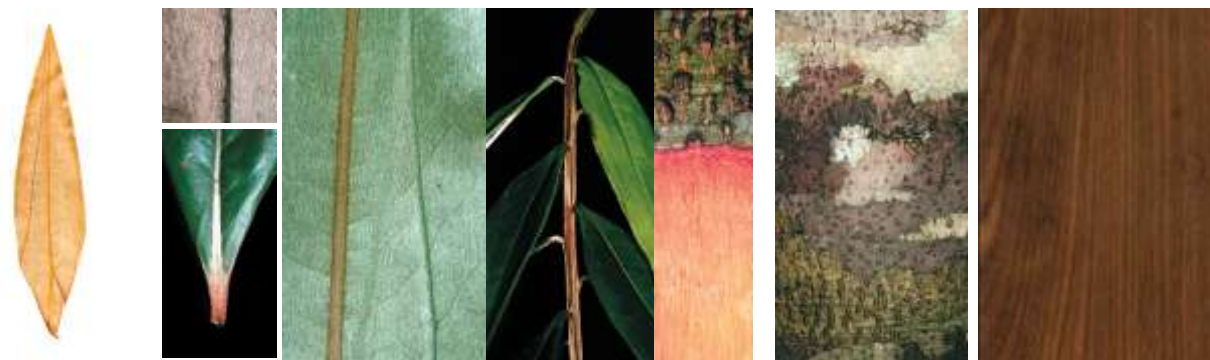
Árvore mediana. Nervuras terciárias perpendiculares à principal e paralelas entre si. Ápice atenuado a longo acuminado (2,5-3,5 cm). Ramos delgados (2-3 mm) e pecíolo curto canaliculado (7-10 mm). Indumento pubérulo nos ramos, pecíolo e face inferior das folhas. A espécie distribui-se na região tropical da América.



Fotos: Ribeiro *et al.* (1999).

Ocotea guianensis Aubl.

Árvore de dossel. Folhas com uma estria lateral paralela à nervura central, sésseis. Nervuras secundárias pouco evidentes devido ao indumento denso. Muito frequente, principalmente em capoeiras de platô e vertente. Norte da América do Sul. e na América Central.



Fotos: Ribeiro *et al.* (1999).

4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A definição do número de árvores das quais seria feita a coleta dos dados tornou-se complicada, uma vez que esta ficou condicionada à aprovação pela empresa. Nessa situação adaptações metodológicas foram realizadas e o número de toras avaliado foi reduzido. Nas árvores escolhidas foi realizado o rastreamento junto ao banco de dados da empresa para verificar se o tempo de pátio era o mesmo dado que demasiada diferença entre as datas de derrubada poderiam interferir nos testes, devido a diferentes estados de conservação das toras.

Foram coletados dados de cinco árvores, de cada árvore foi retirada uma tora, com 200 cm de comprimento. As toras foram desdobradas em pranchas, vigotes e tábuas, e posteriormente em corpos de prova segundo as dimensões requeridas para cada teste de acordo com os critérios estabelecidos pela Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas – COPANT (1972), os ensaios destrutivos foram realizados de acordo com procedimentos estabelecidos por esta mesma norma.

Normalmente retira-se apenas a prancha central da tora para que os corpos de prova resultantes do desdobro já saiam perfeitamente orientados, no entanto tal

procedimento resultaria em um reduzido número de corpos de prova, assim, fez a retirada de três pranchas de cada tora, para as duas pranchas adicionais, a orientação dos corpos de prova foi realizada posteriormente. Cada tora foi desdobrada horizontalmente em pranchas com aproximadamente 15 cm de espessura, paralelas à medula, resultando em um total de 15 pranchas. O presente projeto se insere em um projeto multidisciplinar onde também serão realizados estudos sobre rendimento e energia, assim, antes de desdobradas as toras foram cubadas. Para cada ensaio foi tomado o número mínimo de repetições, conforme determina a norma COPANT. Foi analisados dados de cinco árvores, para a espécie *Nectandra cuspidata*, como se dispunha de 3 toras, foi realizado maior número de repetições em cada teste, para *M. itauba* e *O. guianensis* se dispunha de 1 tora para cada espécie.

4.6 MANUSEIO DO MATERIAL



FIGURA 7 - CUBAGEM



FIGURA 8 - DESDOBRO DAS TORAS EM PRANCHAS

As imagens a seguir mostram o desdobro das pranchas em vigotes que foram levados à Curitiba para realização dos testes físicos e mecânicos. Os corpos de prova em suas dimensões finais foram todos confeccionados no Laboratórios de Usinagem do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade federal do Paraná - UFPR, em Curitiba.



FIGURA 9 - PRANCHAS



FIGURA 10 – DESDOBRO DAS PRANCHAS



FIGURA 11 – PEÇAS RETIRADAS DAS PRANCHAS



FIGURA 12 - VIGOTES

4.7 EQUIPAMENTO UTILIZADO

O equipamento utilizado para a determinação da velocidade de propagação das ondas de tensão foi o “*Stress Wave Timer*”, modelo 239-A, da marca Metriguard (Figura 13). Esse aparelho é composto por um sistema de garras e acelerômetros de partida e chegada e do registrador, que marca o tempo de propagação da onda em microssegundos.



FIGURA 13 – APARELHO STRESS WAVE TIMER.

4.8 ENSAIOS COM O STRESS WAVE TIMER

A avaliação consistiu no posicionamento dos transdutores nas extremidades do material a ser avaliado, conforme Schad *et al.*, (1996), e Matos, (1997). Para avaliação das toras e das pranchas, a onda foi produzida por meio de um impacto com o martelo de impacto (transdutor de partida), para avaliação nos corpos de prova, utilizou-se o sistema de agarras com pêndulo. Após a realização das leituras em cada tora, foram retirados pranchões e para estes, efetuados os mesmos procedimentos de medição e cálculos descritos anteriormente. Segundo Puehringer, (2002), um dos fatores que

podem influenciar a propagação das ondas é a umidade, por isso no presente trabalho procurou-se tomar cuidado para que as avaliações nas toras e nas pranchas fossem realizadas com o menor intervalo de tempo possível.

4.9 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO POR MEIO DO MÉTODO ACÚSTICO

De posse do tempo de propagação da onda e do comprimento do trecho percorrido (L), calcula-se a velocidade de propagação da onda em cada corpo-de-prova utilizando-se a expressão:

$$V = \frac{L}{t}$$

Onde:

V = velocidade de propagação da onda (μ/s);

L = distância percorrida pela onda (μ) – comprimento do corpo-de-prova;

t = tempo de propagação da onda (μs).

Os tempos registrados em microssegundo são utilizados no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Por meio das velocidades de propagação das ondas de tensão medidas, e da massa específica do material, determina-se o módulo de elasticidade, calculando-o pela equação:

$$MOEd = \delta * V^2 * \left(\frac{1}{g} \right)$$

Onde:

MOEd: Módulo de elasticidade dinâmico (MPa);

δ : Massa específica do material (kgf/m³);

g: aceleração da gravidade (9,804 m/s²);

V: Velocidade de propagação da onda longitudinal (m/s)

4.10 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

Os ensaios de propriedades físicas e mecânicas foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM, na Universidade Federal do Paraná, este laboratório é certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro para realização de ensaios com madeira e seus derivados. Este laboratório foi escolhido para realização dos ensaios deste trabalho por possuir equipamentos calibrados e certificação. Para determinação de massa específica e retratibilidade, seguiram-se as normas da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) 458 (1972) que diz respeito à seleção e conjunto de amostras para os testes físicos e mecânicos, COPANT 459 (1972), que determina o acondicionamento das madeiras destinadas aos ensaios, COPANT 461 (1972), método de determinação do peso específico (massa específica) e COPANT 462 (1972), determinação de contração da madeira (retratibilidade).

Os corpos-de-prova para determinação das propriedades de retratibilidade e densidade básica, foram confeccionados nas dimensões de 2,5cm x 2,5cm x 10,0 cm. As amostras foram colocadas para saturação, submersas em água por um período de 45 dias. Logo após a saturação, as amostras foram então submetidas a um processo de secagem natural, que foi monitorado até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente, posteriormente, estas foram submetidas à um processo de secagem artificial, inicialmente foram condicionadas em uma sala com um desumidificador e posteriormente levados à estufa com temperatura de 103 ± 2 °C. Durante o processo de secagem os corpos de prova foram submetidos a sucessivas medições com o auxílio de um micrômetro, paquímetro digital e uma balança de precisão.

A figura a seguir (Figura 14) ilustra um corpo-de-prova e as medidas que são tomadas, para determinação dos coeficientes de retratibilidade da madeira nos diferentes planos de corte.

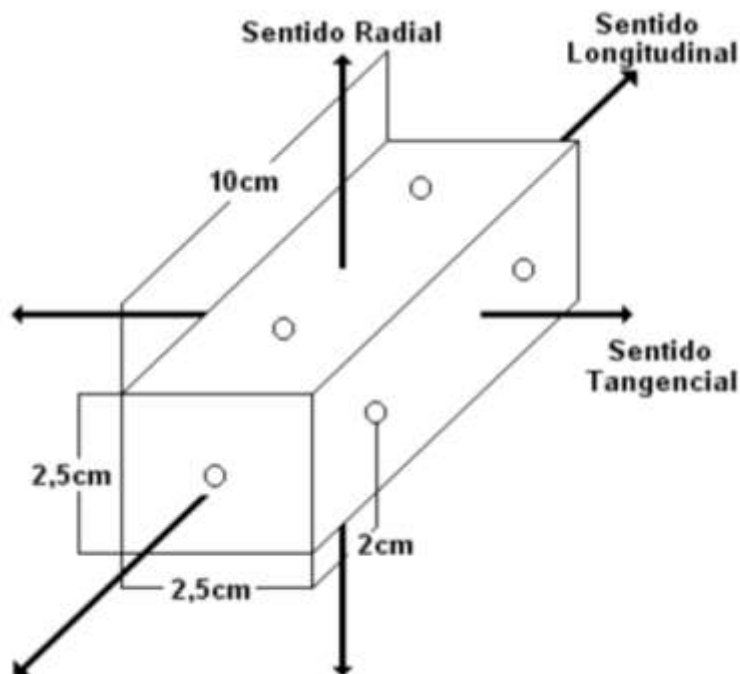


FIGURA 14 – CORPO DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE DA MADEIRA, DE ACORDO COM A NORMA COPANT 462 (1972b).

A retratibilidade linear (tangencial, radial e longitudinal), foi determinada por meio das expressões a seguir:

$$R = \left(\frac{D_V - D_U}{D_V} \right) * 100$$

Onde:

R = Retratibilidade linear em %;

D_v = Dimensão linear na condição de volume verde ou saturado, em cm;

D_u = Dimensão linear na condição de umidade desejada, em cm.

Para a determinação da retratibilidade volumétrica, utilizou-se a equação:

$$R_v = \left(\frac{V_v - V_u}{V_v} \right) * 100$$

Onde:

R_v = Retratibilidade volumétrica em %;

V_v = Volume verde ou saturado (máximo)

V_u = Volume na umidade desejada U% (cm^3).

- Anisotropia

$$A = \left(\frac{R_T}{R_R} \right)$$

Onde:

RT – Retratibilidade tangencial;

RR – Retratibilidade radial.

O ensaio de massa específica foi modificado quanto ao tamanho das amostras, utilizando os mesmo corpos de prova de contração anisotrópica. Na preparação das amostras foi realizado rastreamento e marcação de amostras retiradas do cerne e do alburno. A massa específica básica em g/cm^3 é dada pela relação:

$$\text{Massa_Específica_Básica} = \left(\frac{M_f}{V_U} \right) * 100$$

Onde:

M_f = massa da madeira seca em estufa $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ (g);

V_U = volume da madeira saturada (cm^3).

4.11 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os ensaios de propriedades mecânicas também foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM, na Universidade Federal do Paraná. O controle da umidade nos testes mecânicos é de extrema importância visto que a umidade é um fator que influencia fortemente os resultados. Todas as propriedades da madeira que influenciam em sua elasticidade agem simultaneamente na resistência da madeira à flexão, o mesmo se aplica em relação a umidade, no entanto a umidade exerce menor influência na resistência à compressão (SANLAIC, 1984). O controle de umidade no material destinado aos testes mecânicos se faz necessário também, para evitar que depois de preparados os corpos de prova o material viesse a perder as dimensões

devido à contração e inchamento. Fez- um monitoramento do teor de umidade do material por meio de um medidor de umidade da modelo M51 da marca Marrari (Figura 15), quando o material foi desdobrado para confecção dos corpos de prova o teor de umidade externo variava de 9 à 16%.



FIGURA 15 – MEDIDOR DE UMIDADE



FIGURA 16 – ACONDICIONAMENTO DO MATERIAL.

Antecedendo aos ensaios, os corpos-de-prova foram condicionados em uma câmara climatizada (20 ± 2 °C de temperatura e $65 \pm 1\%$ de umidade relativa). Na ocasião da realização dos ensaios, os corpos de prova foram pesados em balança de precisão, para posterior determinação do teor de umidade, que foi realizado conforme determina norma COPANT 460 (1972), por meio da relação:

$$U\% = \left(\frac{M_i - M_f}{M_f} \right) * 100$$

Onde:

M_i = massa inicial da madeira (g);

M_f = massa da madeira anidra (g).

Após a determinação da massa inicial dos corpos-de-prova em balança digital, e da realização dos ensaios, os corpos-de-prova foram submetidos à secagem em estufa à temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Os ensaios de flexão estática, (MOR e MOE), compressão paralela e dureza, foram realizados em máquina universal eletromecânica, marca EMIC DL-30, dotada de sistema computadorizado para controle de variáveis do ensaio e coleta de dados de carga e deslocamento. Para os ensaio de flexão estática, utilizaram-se 120 corpos de prova de 2 cm x 2 cm x 30 cm, para os ensaios de compressão paralela, foram utilizados 43 corpos de prova de 5 cm x 5 cm x 20 cm, e para os ensaios de dureza foram utilizados 47 corpos-de-prova nas dimensões de 5 cm x 5 cm x 15 cm. As normas para os respectivos ensaios foram:

COPANT. Maderas – Método de ensayo de flexión estática. **NORMA PANAMERICANA 455, 1973.**

COPANT. Maderas – Método de determinación de la compresión paralela al grano. **NORMA PANAMERICANA 464, 1972c.**

COPANT. Maderas – Método de determinación de la dureza. **NORMA PANAMERICANA 465, 1972e.**



FIGURA 17 - CORPOS DE PROVA



FIGURA 18 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA



FIGURA 19 – ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA FIGURA 20 – ENSAIO DE DUREZA PARALELA

A Figura 17, mostra da esquerda para a direita, os corpos de prova para os ensaios de flexão estática, compressão e dureza, as figuras 18, 19 e 20, mostram os respectivos ensaios sendo realizados.

4.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e as análises estatísticas foram processadas nos softwares ASSISTAT 7.6 e Systat 12 e PAST. Foram calculadas médias e coeficiente de variação para todas as variáveis analisadas, os resultados dos testes foram expressos graficamente para melhor visualização de tendências e facilitar o ajuste de equações, e também por meio de tabelas. Análises de variância, bem como de correlação foram feitas para determinar diferenças e relações entre as variáveis e para as diferentes espécies. A comparação entre as médias foi realizada por meio de ANOVA e teste *post hoc* de *Tukey*.

Para comprovar a hipótese, e atender os objetivos propostos, foram empregadas as seguintes análises:

- Análise Fatorial;
- Análise de componentes principais

- Análise de Regressão
- Análise de agrupamento

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

5.1.1 VELOCIDADE MÉDIA DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NAS TORAS NAS PRANCHAS E NOS CORPOS DE PROVA

Conforme estudado por Puehringer (2002), a dimensão das toras é um fator que pode interferir na velocidade de propagação das ondas de tensão, no entanto esta influência é relevante apenas no sentido transversal e diagonal da tora, não sendo significativo para leituras realizadas longitudinalmente. Para evitar mais uma possível fonte de variação a interferir nas leituras com o aparelho Stress Wave Timer, foram tomadas toras de diâmetros semelhantes, e as leituras foram realizadas somente no sentido longitudinal. Na tabela 4, são apresentados os resultados médios para a velocidade de propagação das ondas de tensão no cerne e no alburno das toras, e nas pranchas, para as três espécies, e o respectivo teste de média e coeficiente de variação.

TABELA 4 – TESTE DE MÉDIA PARA OS VALORES DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO NAS TORAS E NAS PRANCHAS.

Espécies		Velocidades (m/s)			
		Tora	CV%	Prancha	CV%
<i>Nectandra cuspidata</i>	Média	3319,05	B	9,56	
	Cerne	3408,46	b	9,72	4246,03 B 11,2
	Alburno	3229,64	b	9,31	
<i>Mezilaurus itauba</i>	Média	4074,95	A	7,49	
	Cerne	4314,06	a	9,64	5383,58 A 10,5
	Alburno	3835,83	a	2,33	
<i>Ocotea guianensis</i>	Média	3963,27	A	8,46	
	Cerne	4070,00	ab	3,27	5386,83 A 9,7
	Alburno	3856,54	a	11,0	

Legenda: CV: Coeficiente de Variação, Valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância

Segundo observado por Puehringer, (2002), outro fatores que pode interferir na leitura do tempo de propagação registrado no aparelho na hora do ensaio, é a força empregada na batida do martelo (transdutor de partida), e também o teor de umidade do material, por isso foram tomadas 5 medidas para cada local, (cerne, alborno e prancha) para cada tora avaliada, posteriormente os dados foram avaliados para detecção de *outliers*.

Os valores médios de velocidade diferiram estatisticamente entre as espécies denotando que o método de avaliação é sensível a ponto de coletar diferenças entre as espécies. Embora se tenha tomado o cuidado de rastrear as informações de armazenamento das toras para saber quanto tempo ficaram estocadas no pátio antes da coleta do material, o estado de conservação do material é um fator que pode estar contribuindo para tais diferenças, além disso, características anatômicas e físicas também exercem grande influência nas leituras, assim como teor de umidade. As espécies *Mezilaurus itauba* e *Ocotea guianensis* apresentaram valores muito próximos, já *Nectandra cuspidata* apresentou resposta bem diferenciada.

Ao associar este comportamento com os resultados apresentados para a massa específica (TABELA 5), observa-se que estes se mostram coerentes. As velocidades apresentaram-se maiores justamente para as espécies que apresentam maior massa específica, e seguem a mesma ordem. As maiores velocidades foram registradas para *M. itauba*, seguida de *O. guianensis* e por último por *N. cuspidata*. Esse resultado era esperado devido as características de propagação das ondas. As ondas encontram menor resistência para propagar-se em meios mais densos em comparação com o ar, assim em espécies de maior massa específica as ondas se propagam com maior facilidade, em menos tempo e, portanto com maior velocidade. A mesma analogia pode ser feita com relação as leituras no sentido transversal, pois os espaços vazios do lume das células exercem maior resistência a propagação das ondas, e portanto no sentido longitudinal sempre serão reportadas maiores velocidades de propagação para ondas de tensão em comparação com leituras nos sentidos transversal e diagonal.

Puehringer, (2002) e Shimoyama, (2005), pesquisaram a velocidade de propagação de ondas de tensão em árvores em pé e relatam que a área ocupada ou disponível por árvore influencia fortemente a velocidade de propagação das ondas. Tal

influência deve-se em parte ao fato de que o espaçamento entre as árvores influencia diretamente do ritmo de crescimento da árvore, assim as condições de crescimento bem como condições edafoclimáticas podem também ser somadas aos fatores que determinam tal resultado. Diversos outros estudos relatam a influência das condições de crescimento na qualidade e quantidade de madeira produzida, dentre estes podemos citar Ponce, (1983), Patiño-Valera, (1986), Cardoso, (1989), Scolforo, (1997), Chies, (2005).

As pranchas apresentaram o mesmo comportamento das toras quanto a velocidade de propagação, as toras onde a velocidade foi maior originaram pranchas com o mesmo comportamento, sugerindo que avaliações podem ser feitas nas toras para prever o comportamento nas pranchas. Puehringer (2002), também encontrou correlações positivas avaliando o tempo de propagação em árvores e correlacionando com o tempo de propagação nas toras. Embora o traçamento das árvores em toras possa gerar tensões internas, estas não se dão de forma intensa permitindo estabelecer boas relações entre as leituras realizadas nas árvores e nas toras, o mesmo raciocínio pode ser feito em relação a leituras feitas nas toras e nas pranchas.

Observa-se também o aumento da velocidade de propagação nas pranchas em relação às toras, *N. cuspidata* e *O. guianensis* tiveram um aumento de 26% na velocidade de propagação das ondas em relação as leituras feitas nas toras, *M. itauba* teve um aumento de 24%, embora apresentem diferentes percentuais para esse aumento de velocidade, os valores são muito próximos, levando a crer que o desdobro assim como o traçamento não causam alteração suficientes para mudar o comportamento de propagação das ondas, mais do que isso, o tamanho do corpo-de-prova utilizado não influencia no resultado final, conforme observado por Bucur (1984), que não encontrou influência da variação da seção transversal de corpos-de-prova na velocidade de propagação.

5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

5.2.1 MASSA ESPECÍFICA

Os valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão obtidos para massa específica básica, das três espécies estão apresentados na tabela 5, juntamente com os

respectivos testes de média. Das três espécies estudadas, a de maior densidade básica média foi *Mezilaurus itauba* (0,792 g/cm³), seguida de *Ocotea guianensis* (0,698 g/cm³) e *Nectandra cuspidata* (0,610 g/cm³).

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA AS TRÊS ESPÉCIES

Espécie	N	Estatística	Massa Específica Básica (g/cm³)
<i>Nectandra cuspidata</i>	80	Média	0,610c
		Max	0,709
		Min	0,557
		Desv. Pad	0,032
<i>Mezilaurus itauba</i>	27	Média	0,792a
		Max	0,846
		Min	0,748
		Desv. Pad	0,032
<i>Ocotea guianensis</i>	20	Média	0,698b
		Max	0,721
		Min	0,602
		Desv. Pad	0,027

Legenda: Letras diferentes representam valores estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância.

Embora o método de determinação da massa específica básica possa exercer grande influência nos resultados, comparações com os valores reportados pela literatura demonstram a coerência dos resultados obtidos no presente estudo. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a massa específica básica para *Mezilaurus itauba* é 0,8 (g/cm³), *Ocotea guianensis* 0,70 (g/cm³) e *Nectandra cuspidata* 0,60 (g/cm³). Kollmann e Côté Jr (1968) afirmam que as variações da massa específica devem-se às diferenças nas estruturas celulares, tendências hereditárias, influências fisiológicas e mecânicas, extrativos e também fatores ambientais. Estudos relacionados à características físicas de espécies amazônicas foram realizados pelo IBAMA/LPF, (1988) que encontraram valores de massa específica básica para a espécie *Mezilaurus itauba* de 0,68 (g/cm³) para material procedente de Belém do Pará, e 0,70 (g/cm³) para material procedente de Santarém – PA, mesmo valor pelo INPA/CPPF, (1991). Para *Nectandra*

cuspidata com procedência da região do Juruá-Solimões – AM, o valor de massa específica básica encontrado pelo IBAMA/LPF, (1988) foi de 0,40 (g/cm³) valor abaixo do encontrado no presente estudo.

Embora nas avaliações tenha sido empregada a norma COPANT, as diferenças encontradas nos valores reportados em relação ao presente estudo podem ser devidas ao procedimento de coleta do material. O material avaliado pelo IBAMA/LPF, pode ser procedente apenas de uma das regiões do tronco (cerne ou alburno ou ainda ser uma média de ambos), no presente estudo o valor médio representa uma média entre as duas regiões. Também a presença de extrativos pode ser influenciar a massa específica, no entanto não se tem conhecimento da inter-relação entre estas duas propriedades, há um consenso no sentido de que em geral, madeiras mais densas apresentam maior quantidade de extrativos, mas esta característica não tem relação direta com a massa específica.

A amplitude da massa específica de madeira exibida por determinadas espécies provavelmente tem componentes geneticamente determinados associados com alometria de crescimento intrínsecas e outras feições da arquitetura das espécies (Meinzer, 2003; Sterck *et al.*, 2006; van Gelder *et al.*, 2006; Wright *et al.*, 2003). Nogueira *et al.* (2003; 2004), apontam diferenças nos valores de massa específica básica medida apenas no cerne em relação àquelas avaliadas por meio de discos amostrais ou cunhas completas, que incluem casca, alburno e cerne. As diferenças encontradas entre os valores máximos e mínimos para as três espécies foram de 20 a 40%. Os valores médios da massa específica básica e desvio padrão para cerne e alburno discriminados por espécie estão apresentados na tabela 5, juntamente com os respectivos testes de média.

A análise discriminada entre cerne e alburno para as espécies revelou uma diferença estatisticamente significativa entre os valores médios de massa específica do cerne e alburno de 7,0 e 6,0% para as espécies *Nectandra cuspidata* e *Mezilaurus itauba*, respectivamente, e de 4,2% para *Ocotea guianensis*, com o cerne apresentado valores superiores para as três espécies. Embora as diferenças entre as características físicas entre cerne e alburno sejam consenso na literatura, valores muito próximos são reportados para algumas espécies no que se refere à massa específica, sendo que a

massa específica do alburno de algumas é até 50% maior do que a massa específica do cerne de outras.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DE TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA MASSA ESPÉCIFICA BÁSICA DO CERNE E DO ALBURNO POR ESPÉCIE.

Espécie		N	Estatística	Massa Específica Básica (g/cm³)
<i>Nectandra cuspidata</i>	Alburno	40	Média	0,590C
			Desv. Pad	0,015
	Cerne	40	Média	0,633c
			Desv. Pad	0,025
<i>Mezilaurus itauba</i>	Alburno	12	Média	0,766A
			Desv. Pad	0,015
	Cerne	15	Média	0,815a
			Desv. Pad	0,023
<i>Ocotea guianensis</i>	Alburno	10	Média	0,68B
			Desv. Pad	0,03
	Cerne	10	Média	0,71b
			Desv. Pad	0,01

Legenda: Letras diferentes representam valores estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância.

Nogueira *et al.*, (2005), verificando a influência da massa específica nas estimativas de biomassa e carbono analisaram as mudanças nesta variável ao longo do fuste e na direção radial para floresta aberta no sul da Amazônia e em floresta densa na Amazônia central considerando mais de 100 morfo-espécies. Os autores reportam variação radial média (diferença entre as densidades do cerne e do disco completo) de 3,3% no sul e 5,3% na Amazônia central. A variação ao longo do comprimento do fuste (diferença entre a densidade do disco completo na altura do peito e de todo o fuste) foi 4,2% para o sul da Amazônia, e 4,3% na Amazônia central.

A proporção de cerne e alburno é uma característica de cada espécie, idade, sítio, solo e clima, entre outros fatores. De modo geral, as variações nas características físicas e tecnológicas do cerne e do alburno estão fortemente relacionadas com a massa específica e a porosidade. O cerne é menos permeável devido à oclusão de vasos por tiloses durante a sua formação, essas tiloses acabam por entupir os vasos e as substâncias que se acumulam devido a esse entupimento alteram a cor da madeira, sua

permeabilidade, higroscopicidade, umidade, contração e inchamento, durabilidade, dificuldade de secagem e absorção de produtos preservantes. (BURGER & RICHTER, 1991). Contrariamente, no alburno observa-se grande abundância de tecido parenquimático (raios e parênquima axial) proporcionando baixa durabilidade natural, uma vez que se trata de tecido mole e de fácil penetração, atraindo agentes degradadores devido ao conteúdo nutritivo armazenado em suas células (amido, açúcares, proteínas, etc.), no entanto essas diferenças não são tão visíveis para todas as espécies. Para as espécies avaliadas, estas características estão refletidas no teste de médias apresentado na tabela 6, que mostra que as espécies diferenciam-se estatisticamente tanto no cerne quanto no alburno.

5.2.2 RETRATIBILIDADE

A retratibilidade volumétrica expressa a variação higroscópica total ocorrida, no entanto, as contrações lineares que ocorrem ao longo dos planos de orientação da madeira são mais importantes por serem diferentes, inter e intra-especificamente, dando a madeira a característica da anisotropia, principalmente em se tratando da variação dimensional nos planos radial e tangencial. Os valores médios de retratibilidade para as três espécies estão apresentados na tabela 6.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO.

Espécie	Estatística	CT %	CR %	CV %	AC
<i>Nectandra cuspidata</i>	Média	10,107a	4,484a	14,365a	2,476a
	Max	14,434	9,419	21,206	5,065
	Min	5,214	1,724	9,438	1,032
	Desv. Pad	1,443	1,592	2,594	0,748
<i>Mezilaurus itauba</i>	Média	7,132b	3,051b	10,645b	2,363c
	Max	8,251	3,784	12,150	2,796
	Min	5,714	2,469	8,846	1,937
	Desv. Pad	0,758	0,437	1,094	0,288
<i>Ocotea guianensis</i>	Média	6,62c	2,91c	9,33c	2,43a
	Max	7,95	4,55	12,14	3,56
	Min	5,02	1,62	6,56	1,71
	Desv. Pad	0,87	0,98	1,69	0,54

Legenda: CT:Contração Tangencial; CR: Contração Radial; CV: Contração Volumétrica; AC: Anisotropia de Contração, Letras diferentes representam valores estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância.

Com base na tabela 6, observa-se que as espécies apresentam comportamento bastante distinto em cada plano de corte e na madeira do cerne e do alborno, conforme resultado obtido no teste de médias. Os valores de contração tangencial radial e volumétrica diferiram estatisticamente para as três espécies, sendo os maiores valores registrados para *Nectandra cuspidata*, seguida por *Mezilaurus itauba* e *Ocotea guianensis*. Segundo Klock (2000), a dificuldade na determinação da contração longitudinal e as diminutas mudanças nas dimensões longitudinais, que exigem alta acuracidade nas medições para se obter resultados precisos, são motivos pelos quais na prática a contração longitudinal é desconsiderada por muitos autores. Este é um fator adicional a interferir nos resultados encontrados, mesmo quando consideradas as mesmas espécies, procedências e métodos utilizados.

Segundo alguns autores como Kollmann e Côtê Jr (1968), quanto mais alta a massa específica da madeira, maior a sua contração ou expansão, no entanto, com base nos resultados do presente estudo percebe-se que há controvérsia em tal afirmação. Conforme mostrado anteriormente (TABELA 4), a massa específica segue a seguinte ordem: *M. itauba* > *O. guianensis* > *N. cuspidata*, totalmente diferente da ordem encontrada para retratibilidade volumétrica. Mesmo que procedimentos iguais sejam adotados nas avaliações, os resultados também são influenciados por variações de idade da árvore, genótipo e fatores edafoclimáticos, fisiológicos e fisiográficos, esses fatores são em geral iterativos o que dificulta avaliações isoladas, e podem estar associados às divergências encontradas.

Analisando a contração tangencial de cada espécie, observa-se que oscilam em torno do dobro da radial conforme reportado por Durlo e Marchiori (1992). As diferenças entre a retratibilidade tangencial e radial devem-se à características anatômicas. Com relação aos raios, quanto maior o número de células na constituição de sua altura e largura (espessura da parede celular), maior é a influência do plano radial na variação dimensional. Outros fatores como dimensões radiais dos vasos e diferenciações químicas entre as paredes celulares radiais e tangenciais são fatores que influenciam no plano tangencial sendo, portanto de grande importância por serem fatores decisivos a influenciar na anisotropia das madeiras, (MASSERAN; MARIAUX, 1985). A presença de

grã irregular, assim como lenho de reação também são fatores de forte influência nos coeficientes de retratibilidade. Com relação às contrações longitudinais, o principal componente a influenciar as contrações é o ângulo microfibrilar, sendo a relação direta e positiva. A tabela 8 apresenta os valores médios e desvio padrão para retratibilidade e anisotropia, bem como o teste de média do cerne e do alburno para as três espécies.

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO MÉDIOS DO CERNE E ALBURNO.

Espécie		Estatística	CT %	CR %	CV %	AC
<i>Nectandra cuspidata</i>	A	Média	9,908A	4,523A	14,210A	2,359C
		Desv. Pad	1,463	1,467	2,441	0,627
	C	Média	10,321a	4,503a	14,591a	2,571a
		Desv. Pad	1,423	1,545	2,610	0,813
<i>Mezilaurus itauba</i>	A	Média	6,976B	2,767B	10,166B	2,526B
		Desv. Pad	0,603	0,198	0,723	0,198
	C	Média	7,269c	3,300c	11,063b	2,221b
		Desv. Pad	0,891	0,443	1,231	0,288
<i>Ocotea guianensis</i>	A	Média	5,98C	2,31C	8,15C	2,63A
		Desv. Pad	0,51	0,32	0,69	0,34
	C	Média	7,34b	3,59b	10,66c	2,21b
		Desv. Pad	0,55	1,04	1,49	0,66

Legenda: CT:Contração Tangencial; CR: Contração Radial; CV: Contração Volumétrica; AC: Anisotropia de Contração, A: Alburno, C: Cerne, Letras diferentes representam valores estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância.

As espécies estudadas, de maneira geral têm elevada retratibilidade, tanto no cerne como no alburno, característica comum entre a maioria das espécies madeiras da Amazônia. Especial atenção deve ser dada ao desvio padrão, e valores máximos e mínimos os quais indicam a variabilidade do parâmetro, e em última análise reportam em números a interação entre os vários fatores que estão a influenciar nos resultados. Observando o desvio padrão verifica-se maiores valores para a espécie *N cuspidata*, no entanto por terem sido amostrados três indivíduos desta espécie e apenas um das espécies *M itauba* e *O guianensis*, não se pode afirmar que a variabilidade nessa

característica é maior ou menor para cada espécie, pois os valores para as últimas duas espécies estão expressando variações intra indivíduo e os valores para *N cuspidata* estão expressando variações entre as árvores amostra da espécie. No entanto, os valores encontrados no presente estudo, não são discrepantes dos reportados na literatura.

Dentre os fatores que tornam importante o estudo dos aspectos físicos das espécies, está a classificação das madeiras quanto aos parâmetros de retratibilidade. Nesse sentido, importantes trabalhos como o sistema de classificação proposto por Sallenave (1971), que considerou as retratibilidades lineares transversais e a volumétrica para classificação. Nahuz (1974) utilizou os mesmos parâmetros, porém com maior número de faixas de classificação.

O comportamento da retratibilidade e da anisotropia analisadas por espécie e discriminadas entre cerne e alburno é bastante semelhante. Conforme descrito para a maioria das espécies, a retratibilidade do cerne apresentou maiores valores para o cerne tanto volumétrica como nos planos tangencial e radial. Assim como para a massa específica, também houve diferenciação estatisticamente significativa entre as espécies para contração tangencial, radial e volumétrica.

O fator anisotrópico é a relação entre as retratibilidades tangencial e radial. A situação ideal, raramente encontrada, é aquela onde as tensões decorrentes da natureza anisotrópica da madeira se anulam. Portanto a importância deste índice reside no fato de que quanto mais distante de 1 for o seu valor, mais propensa será a madeira a fendilhar e empenar durante o processo de secagem. Embora para espécies amazônicas sejam encontrados com frequência valores elevados para esse índice, os valores encontrados no presente estudo denotam que para as três espécies estudadas, este não é um fator limitante no uso da madeira destas espécies. Segundo a classificação do *Forest Products Laboratory* (1999), valores de 1,5 a 2,5 como os encontrados no presente estudo, são considerados médios a ruim, causando sérios problemas no processo de secagem, mas não limitando o da madeira na maioria dos processos industriais.

N. cuspidata apresentou anisotropia média de 2,4, cerne e alburno apresentaram valores de 2,5 e 2,3 respectivamente, sendo estes, os maiores valores encontrados entre as três espécies. *M. itauba* apresentou anisotropia média de 2,3, cerne e alburno

apresentaram valores de 2,2 e 2,5 respectivamente. *O. guianensis* apresentou anisotropia média de 2,4, cerne e alburno apresentaram valores de 2,1 e 2,6 respectivamente. Para esta espécie nota-se mais uma vez a controvérsia entre o censo comum que se tem de que assim como *O. guianensis*.

N. cuspidata foi a única que se diferenciou estatisticamente das outras espécies com relação ao coeficiente anisotrópico. Para *M. itauba* e *O. guianensis* a anisotropia do alburno apresenta valores maiores em relação ao cerne, *N. cuspidata* apresenta comportamento diferente, anisotropia do alburno é maior que a do cerne. O fator anisotrópico não tem relação direta com a massa específica e portanto não se comporta da mesma forma (cerne > alburno), sendo que o valor do coeficiente expressa apenas o quão diferente ocorrem as variações higroscópicas nos planos tangencial, radial.

5.2.3 INTER-RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS FÍSICAS E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS

Na análise de componentes principais (Figura 21) foram obtidos os grupos de variáveis que explicam 100% da variação. A natureza deste procedimento permite extrair fatores que não são correlacionados ou que tenham correlação muito pequena uns com outros.

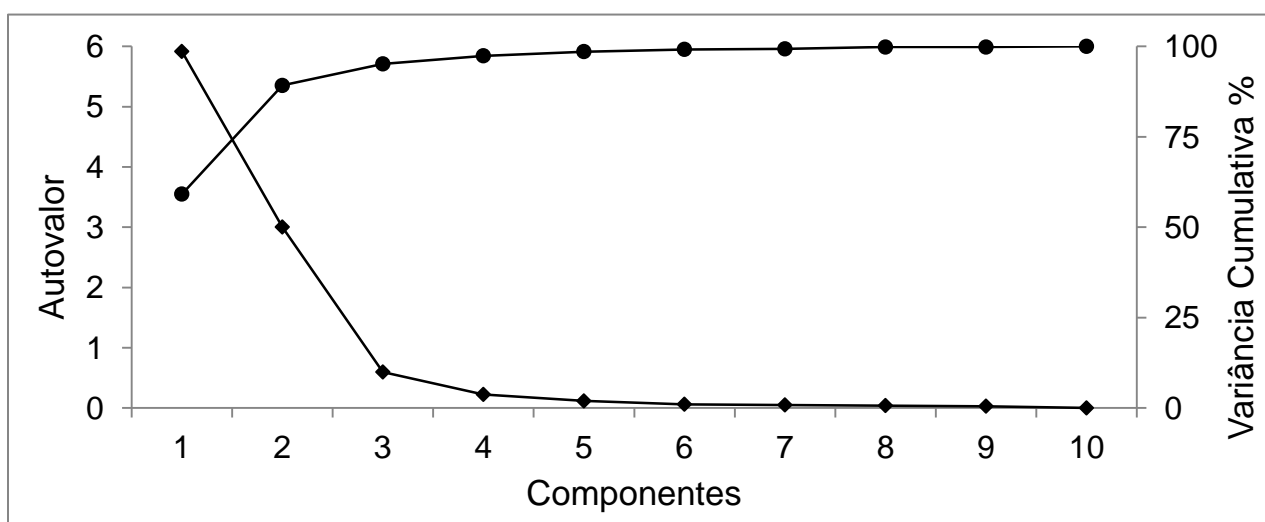


FIGURA 21 – COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDOS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E ACUSTICAS PARA AS TRÊS ESPÉCIES

As componentes principais obtidas apresentaram autovalores que variaram de zero a 5,9. Verifica-se que as duas primeiras componentes apresentam autovalores superiores a 1, e juntas explicam cerca de 90% da variação total, (TABELA 9), assim as 10 variáveis anteriormente relacionadas podem ser substituídas por estas duas com perda de apenas 10% da informação.

TABELA 9 – AUTOVALORES DAS DUAS PRIMEIRAS COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA VARIÁVEIS FÍSICAS E ACÚSTICAS DAS TRÊS ESPÉCIES

PC	Autovalor	Variância	Variância Acumulada%
1	5,91567	59,157	59,157
2	3,00240	30,024	89,181
3	0,59681	5,9681	95,149
4	0,22451	2,2451	97,394
5	0,11622	1,1623	98,556
6	0,06151	0,6151	99,171

Embora com diferentes graus de associação, de maneira geral as variáveis apresentaram o mesmo comportamento para as três espécies, por isso optou-se por avaliar conjuntamente o grau de associação das variáveis, assim segue abaixo a matriz de correlação das variáveis físicas e acústicas das três espécies, rotacionada pelo método *Varimax* onde se pode verificar mais claramente a estrutura de relacionamento das variáveis com os fatores extraídos.

TABELA 10 – FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉZ DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E ACUSTICAS DAS TRÊS ESPÉCIES

VARIÁVEIS	COMUNALIDADE	COMPONENTES	
		1	2
CTA – Contração Tangencial no Alburno	0,930551	0,96230	-0,06724
CRA – Contração Radial no Alburno	0,955997	0,93301	0,29237
CVA – Contração Volumétrica no Alburno	0,935309	0,96296	0,08948
DA – Massa Específica no Alburno	0,843946	-0,68175	0,61576
VA – Velocidade de Propagação da Onda no Alburno	0,821853	-0,12677	0,89765
CTC – Contração Tangencial no Cerne	0,953650	0,96929	0,11884
CRC – Contração Radial no Cerne	0,908623	0,72803	0,61529
CVC – Contração Volumétrica no Cerne	0,953180	0,90768	0,35956
DC – Massa Específica Básica no Cerne	0,754899	-0,56113	0,66334
VC – Velocidade de Propagação da Onda no Cerne	0,859702	-0,31923	0,87051

Todas as variáveis apresentaram altas comunalidades, sendo mantidas na análise de fatores rotacionados. O fator 1 responsável por 59% da variação total, têm boa associação com as variáveis de retratibilidade, tanto no cerne quanto no alburno. O fator 2 responsável por 30% da variação total tem boa associação com a massa específica e com a velocidade de propagação das ondas. A partir destes resultados foram gerados modelos lineares para estimativa das propriedades físicas das espécies em função da massa específica e da velocidade de propagação das ondas, (Tabelas 11 e 12)

TABELA 11 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO PARA AS TRÊS ESPÉCIES.

Equações	R²	F
CTA = -21,9293983+ 51,4962493* MEA	0,964	355,074
CRA = -28,050901+ 55,3201260* MEA	0,977	675,734
CVA = -44,1336933+ 99,8810281* MEA	0,967	383,138
CTC = -12,3568844+ 31,4893903* MEC	0,976	545,238
CRC = -21,4681239+ 38,9277718* MEC	0,953	363,507
CVC = -32,5293965+ 72,9056912* MEC	0,973	539,493

Legenda: CTA: Contração Tangencial do Alburno; CRA: Contração Radial do Alburno; CVA: Contração Volumétrica do Alburno; CTC:Contração Tangencial do Cerne; CRC: Contração Radial do Cerne; CVC: Contração Volumétrica do Cerne; MEA: Massa Específica Básica do Alburno; MEC: Massa Específica Básica do Cerne.

TABELA 12 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO PARA AS TRÊS ESPÉCIES.

Equações	R²	F
CTA = -0,7792639+ 0,003995612* VA	0,958	333,906
CRA = -7,405795705+ 0,0035221* VA	0,842	753,488
CVA = -9,155371439+ 0,006416503* VA	0,923	326,850
CTC = -1,793716622+ 0,003411538* VC	0,916	546,073
CRC = -9,108910174+ 0,003830205* VC	0,932	308,088
CVC = -7,836144618+ 0,006323458* VC	0,923	646,351

Legenda: CTA: Contração Tangencial do Alburno; CRA: Contração Radial do Alburno; CVA: Contração Volumétrica do Alburno; CTC:Contração Tangencial do Cerne; CRC: Contração Radial do Cerne; CVC: Contração Volumétrica do Cerne;VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne.

5.2.4 MODELAGEM DAS VARIÁVEIS FÍSICAS POR ESPÉCIE

É sabido que as espécies apresentam diferentes características físicas e tecnológicas, no entanto, a maioria dos trabalhos dedicados a avaliar as propriedades tecnológicas por meio de metodologia não destrutiva, o faz por meio da avaliação das propriedades de um conjunto de espécies. Embora seja interessante conhecer o comportamento geral das espécies, os resultados reportados neste tipo de análise limitam o entendimento das características específicas de cada material. Por este motivo no presente estudo, foram realizadas análises por espécie, a importância desta análise reside na escassez de trabalhos dedicados a relacionar por meio de modelos, as propriedades físicas e mecânicas para cada material, sendo comuns trabalhos que apresentam modelos de tendência geral. Na análise das propriedades físicas (Tabela 7), verificou-se diferenças significativas de acordo com o teste de *tukey*, sugerindo que é possível expressar as diferenças anatômicas, físicas e tecnológicas das espécies por meio desta técnica. Assim, expressar todos os resultados como uma estatística única seria subutilizar a técnica.

Para relacionar as propriedades da madeira, é necessário que todas as variáveis sejam correspondentes a uma mesma região do tronco, por isso no presente estudo fez-se o rastreamento dos corpos de prova em cada teste, de maneira que o relacionamento das variáveis fosse feito entre dados advindos da mesma peça. A partir destes dados foi feita a análise de correlação para as propriedades estudadas, e posteriormente modelos foram gerados para a estimativa das propriedades. Foram realizadas análises entre as variáveis: Contração Tangencial, Radial e Volumétrica do Cerne e do Alburno, Massa específica básica do cerne e do alburno, e Velocidade de propagação das ondas de tensão no cerne e no alburno para as três espécies.

Na tabela 13 está apresentada a análise de correlação entre as variáveis para a espécie *Nectandra cuspidata*, e a tabela 14 apresentam as equações lineares ajustadas entre as propriedades destas espécies, bem como as estatísticas de ajuste das respectivas equações. Nas figuras 22 e 23 está apresentado na forma gráfica o relacionamento entre as variáveis de retratibilidade, em função da massa específica básica e velocidade de propagação das ondas.

TABELA 13 - CORRELAÇÃO DE *Pearson* ENTRE AS VARIÁVEIS PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*.

	CTA	CRA	CVA	MEA	VA	CTC	CRC	CVC	MEC	VC
CTA	1									
CRA	0,899689	1								
CVA	0,953309	0,957225	1							
MEA	0,804363	0,812403	0,763544	1						
VA	0,837257	0,924121	0,927362	0,348952	1					
CTC	0,944100	0,948378	0,964253	0,810936	0,544577	1				
CRC	0,792625	0,940797	0,875406	0,734475	0,486335	0,881036	1			
CVC	0,887541	0,946313	0,922626	0,785421	0,504562	0,947781	0,953008	1		
MEC	0,836034	0,822572	0,827740	0,754454	0,303827	0,786129	0,759605	0,809938	1	
VC	0,731363	0,633669	0,674358	0,581683	0,282896	0,843801	0,792465	0,772658	0,375235	1

Legenda: CTA: Contração Tangencial do Alburno; CRA: Contração Radial do Alburno; CVA: Contração Volumétrica do Alburno; CTC: Contração Tangencial do Cerne; CRC: Contração Radial do Cerne; CVC: Contração Volumétrica do Cerne; MEA: Massa Específica do Alburno; MEC: Massa Específica do Cerne; VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne.

TABELA 14 – EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*.

Equações	R ²	F
$CTA = -22,78718 + 55,742794 * MEA$	0,647	72,519
$CRA = -30,80396 + 59,83960 * MEA$	0,660	76,717
$CVA = -46,65156 + 103,37355 * MEA$	0,583	55,527
$CTC = -13,37019 + 37,438259 * MEC$	0,618	64,297
$CRC = -23,29561 + 43,89662 * MEC$	0,577	54,281
$CVC = -34,88171 + 78,22572 * MEC$	0,656	75,553

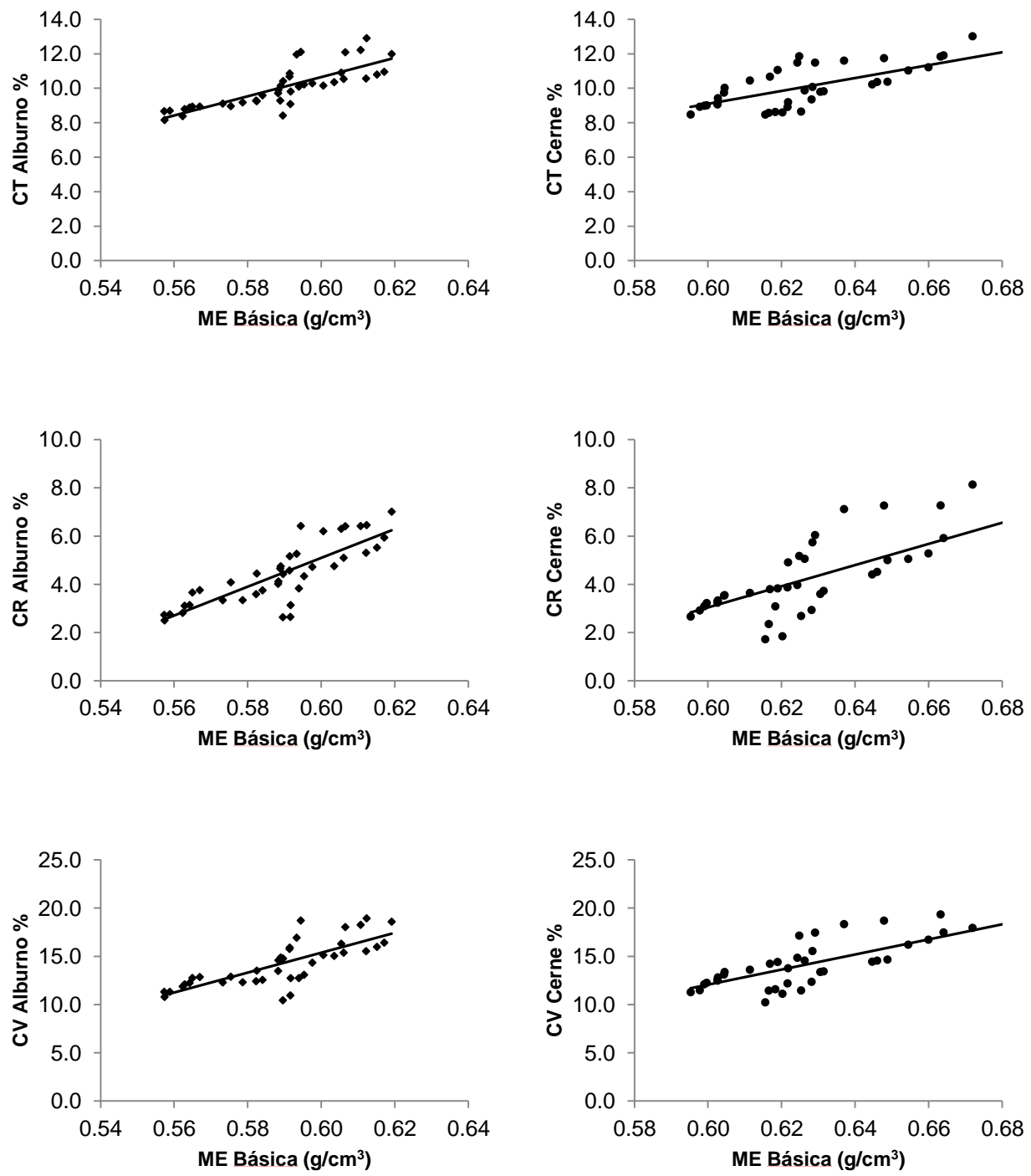


FIGURA 22 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIES *Nectandra cuspidata*

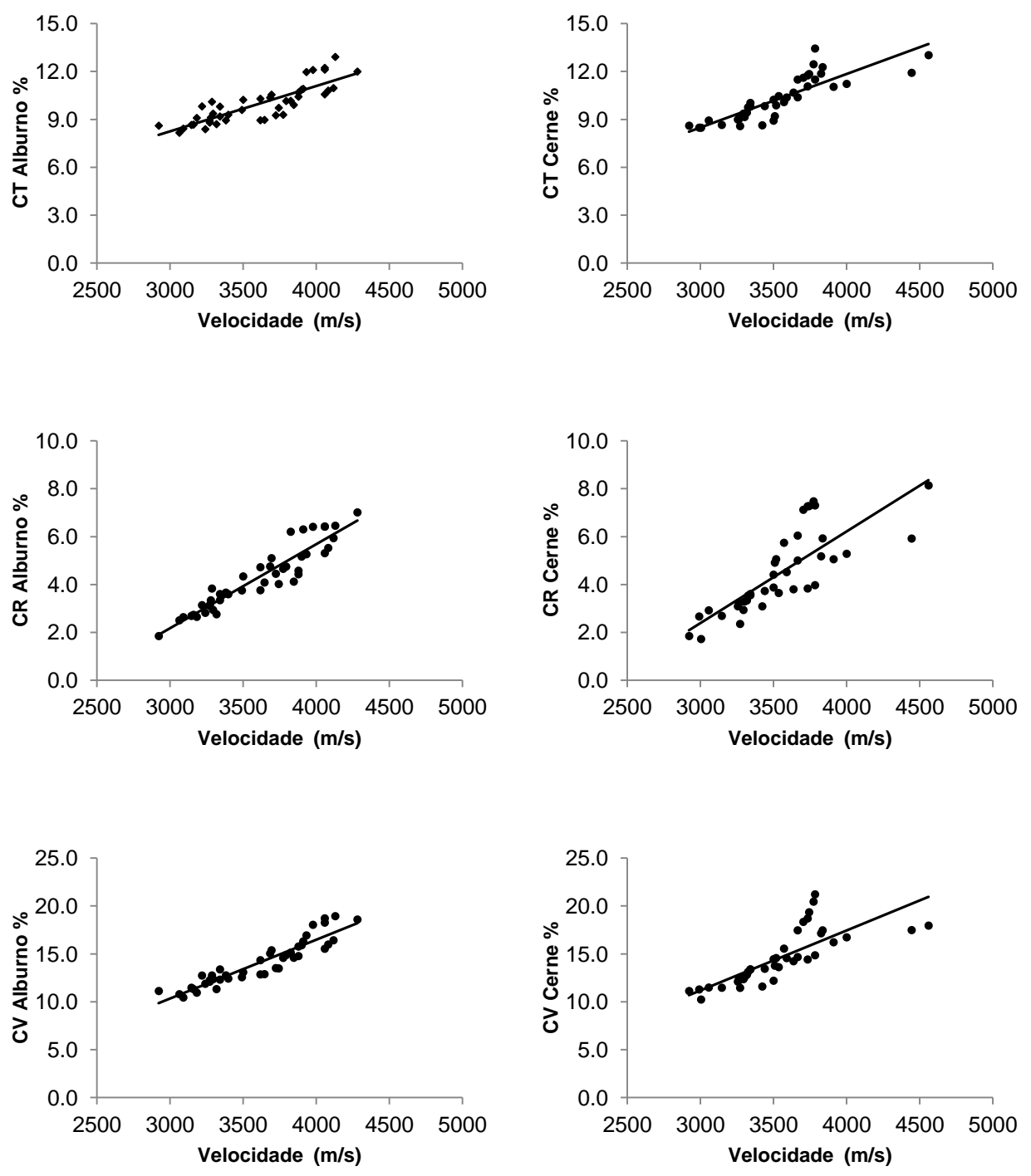


FIGURA 23 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*

TABELA 15 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*.

Equações	R ²	F
CTA = -0,8792639+ 0,002995612* VA	0,701	92,870
CRA = -8,331284109+ 0,003502727* VA	0,854	229,756
CVA = -9,267291312+ 0,006445602* VA	0,860	242,195
CTC = -1,587595365+ 0,003356264* VC	0,712	97,578
CRC = -9,108910174+ 0,003830205* VC	0,628	66,994
CVC = -7,607084986+ 0,006262033* VC	0,597	58,812

Conforme Shimoyama (2005), altos coeficientes de correlação podem ocorrer devido à autocorrelação entre as propriedades onde o valor final se originarem de fórmulas, isso pode ocorrer, por exemplo, ao se considerar o tempo e a velocidade de propagação das ondas, onde o cálculo da velocidade é realizado em função do tempo, por este motivo no presente trabalho todas as relações foram estabelecidas em função da velocidade de propagação da onda, este procedimento justifica-se, na facilidade de comparação dos resultados com a literatura disponível, e também para evitar problemas de autocorrelação entre as variáveis.

Observa-se a existência de correlação significativa entre a massa específica básica e as variáveis de retratibilidade tanto para o cerne quanto para o alburno, tal resultado evidencia as diferenças anatômicas entre essas regiões do tronco, muitos trabalhos tem relatado tais diferenças com maior ênfase na massa específica, no entanto esta propriedade só, não é suficiente para explicar tal comportamento, alguns autores sugerem incorporar o diâmetro do lume, largura da parede celular e comprimento das fibras para explicar o comportamento anisotrópico da madeira obtendo resultados superiores. Boas correlações também foram obtidas entre as propriedades de retração e a velocidade de propagação das ondas no cerne e no alburno, esse resultado sugere que o método de avaliação não destrutiva consegue captar maiores variações em relação a massa específica básica, explicando os resultados superiores em relação a essa variável. A seguir estão descritas as análises para a espécie *Mezilaurus itauba*.

TABELA 16 - CORRELAÇÃO DE *Pearson* ENTRE AS VARIÁVEIS PARA *Mezilaurus itauba*

	CTA	CRA	CVA	MEA	VA	CTC	CRC	CVC	MEC	VC
CTA	1									
CRA	0,874178	1								
CVA	0,824060	0,971850	1							
MEA	0,930591	0,891067	0,763544	1						
VA	0,760993	0,864554	0,944579	0,264252	1					
CTC	0,277087	0,514443	0,601123	0,565766	0,528266	1				
CRC	-0,002880	0,237771	0,344909	0,357714	0,377642	0,857031	1			
CVC	0,247485	0,487020	0,551064	0,574899	0,559048	0,810871	0,889700	1		
MEC	-0,072180	0,210522	0,232757	0,217060	0,248261	0,719027	0,894427	0,812404	1	
VC	-0,053480	0,166035	0,238601	0,203546	0,198253	0,820975	0,877491	0,830662	0,389749	1

Legenda: CTA: Contração Tangencial do Alburno; CRA: Contração Radial do Alburno; CVA: Contração Volumétrica do Alburno; CTC: Contração Tangencial do Cerne; CRC: Contração Radial do Cerne; CVC: Contração Volumétrica do Cerne; DA: Densidade do Alburno; DC: Densidade do Cerne; VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne.

TABELA 17 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*.

Equações	R ²	F
CTA = -2,175517138 + 37,51617792 * MEA	0,866	39,842
CRA = -6,343524718 + 11,89575233 * MEA	0,794	24,195
CVA = -24,20334601 + 44,87869035 * MEA	0,583	55,527
CTC = 0,2751717129 + 8,794585062 * MEC	0,517	18,503
CRC = -0,450272287 + 4,850672752 * MEC	0,800	29,008
CVC = 1,671404125 + 11,64890734 * MEC	0,660	14,641

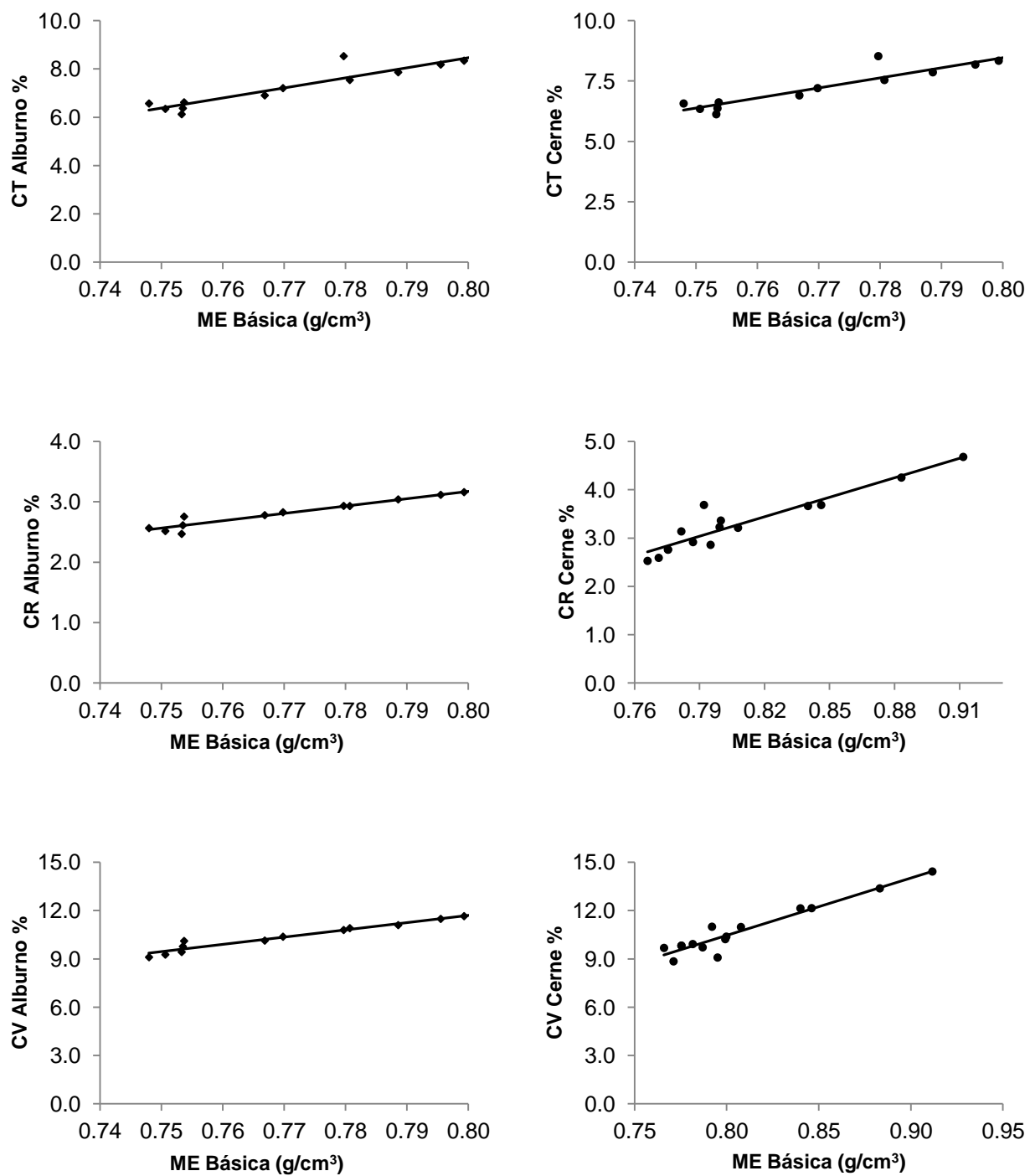


FIGURA 24 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIES *Mezilaurus itauba*.

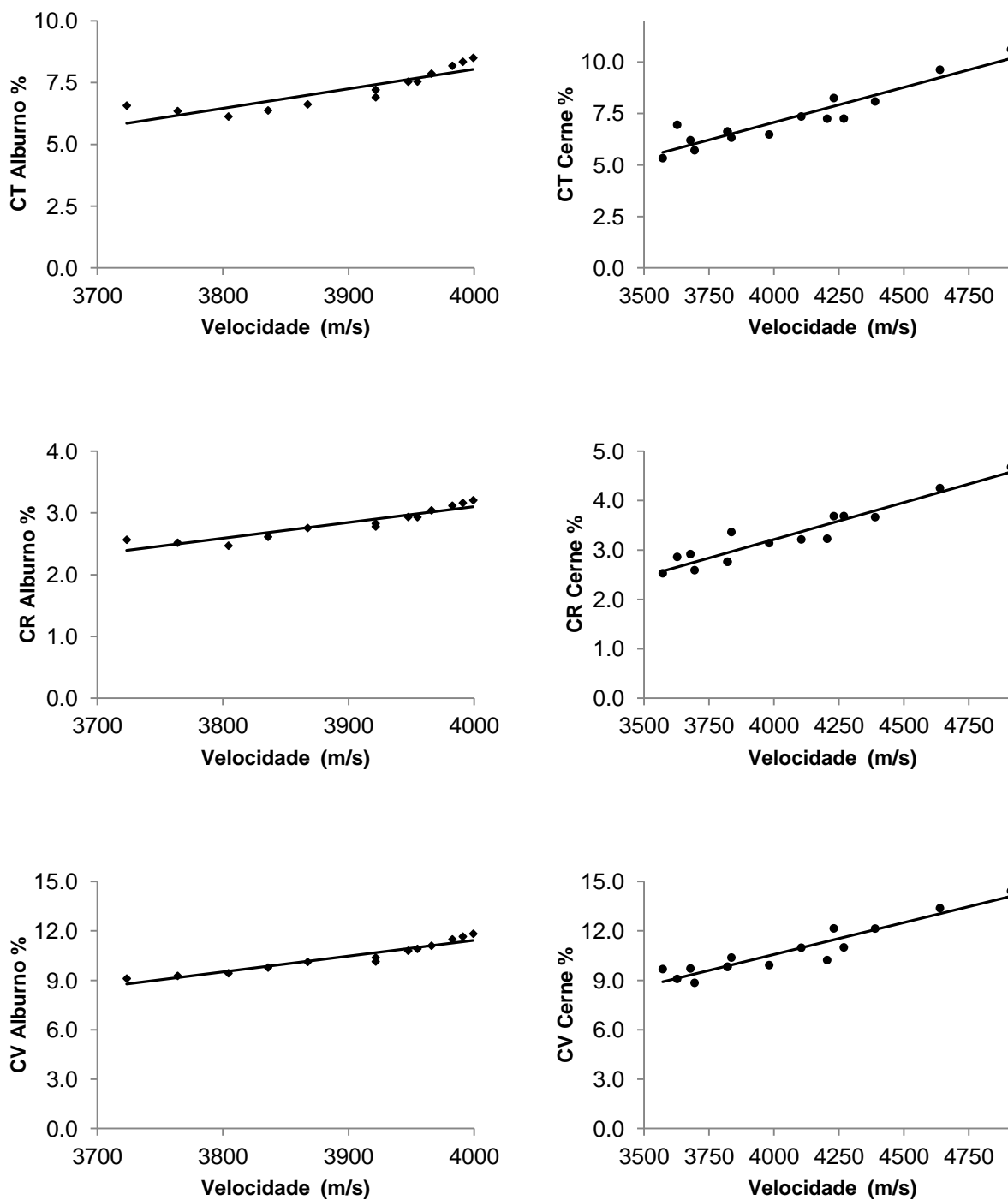


FIGURA 25 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*.

TABELA 18 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*.

Equações	R ²	F
CTA = -14,3661113+ 0,005500705* VA	0,579	19,282
CRA = -4,943713492+ 0,001987266* VA	0,744	18,469
CVA = -20,10700678+ 0,007802628* VA	0,892	50,881
CTC = -3,852728675+ 0,002701989* VC	0,674	15,473
CRC = -2,064807989+ 0,001323791* VC	0,770	24,543
CVC = -2,628837917+ 0,003285422* VC	0,690	16,613

Para *M. itauba*, assim como para *N. cuspidata* foram observadas boas correlações entre as retratibilidades e a massa específica básica, tanto no cerne como no alburno, tal resultado evidencia o que já é consenso na literatura, cerne e alburno diferem quanto às características e comportamento tecnológico, no entanto para esta espécie, tais diferenças não são grandes. A diferença entre as retrações volumétricas do cerne alburno é de 0,3% (Tabela 6), em termos práticos é uma diferença muito pequena e não gera grandes diferenças no comportamento tecnológico se considerarmos somente a retração, no entanto, conforme já dito, cerne e alburno diferem em outras características. Tais características, também são percebidas pelo método de avaliação aqui empregado e estão traduzidas graficamente nas figuras 24 e 25, onde se pode perceber o comportamento diferenciado entre as velocidades de propagação das ondas entre o cerne e o alburno.

Com relação à velocidade de propagação das ondas, observa-se boa correlação com as variáveis de retratibilidade, mesmo diferenças pequenas como variações de 3.700 a 4.000 m/s para contração volumétrica no alburno, e 3.500 a 4.500 m/s no cerne, são percebidas pelo método. Tal resultado corrobora os obtidos por Oliveira *et al.* (2002), que estudando espécies densas por meio de avaliação não destrutiva obtiveram pequena variação na velocidade média de propagação das ondas em relação a retratibilidade. A seguir estão apresentadas as análises para a espécie *Ocotea guianensis*.

TABELA 19 - CORRELAÇÃO DE *Pearson* ENTRE AS VARIÁVEIS PARA *Ocotea guianensis*

	CTA	CRA	CVA	MEA	VA	CTC	CRC	CVC	MEC	VC
CTA	1									
CRA	0.920482	1								
CVA	0.952126	0.919723	1							
MEA	0.913783	0.961249	0.864869	1						
VA	0.935417	0.932748	0.893764	0.353942	1					
CTC	0.723451	0.733452	0.727288	0.754754	0.792919	1				
CRC	0.606275	0.75586	0.650006	0.712798	0.667722	0.750926	1			
CVC	0.42383	0.613539	0.452328	0.513402	0.532503	0.753501	0.913168	1		
MEC	0.681081	0.757389	0.679986	0.708239	0.812836	0.824621	0.824621	0.864291	1	
VC	0.42349	0.555512	0.460634	0.469657	0.49837	0.655718	0.884277	0.914877	0.384949	1

Legenda: CTA:Contração Tangencial do Alburno; CRA: Contração Radial do Alburno; CVA: Contração Volumétrica do Alburno; CTC:Contração Tangencial do Cerne; CRC: Contração Radial do Cerne; CVC: Contração Volumétrica do Cerne; DA: Densidade do Alburno; DC: Densidade do Cerne; VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne.

TABELA 20 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*.

Equações	R ²	F
CTA = -24,54758066+ 44,09974462* MEA	0,835	41,679
CRA = -12,75827737+ 21,82120049* MEA	0,924	99,599
CVA = -16,35676213+ 35,5651955* MEA	0,748	24,795
CTC = 2,607101373+ 6,748443738* MEC	0,680	15,882
CRC = -6,920293165+ 14,89274103* MEC	0,680	15,943
CVC = -6,0319242+ 24,12494369* MEC	0,747	21,764

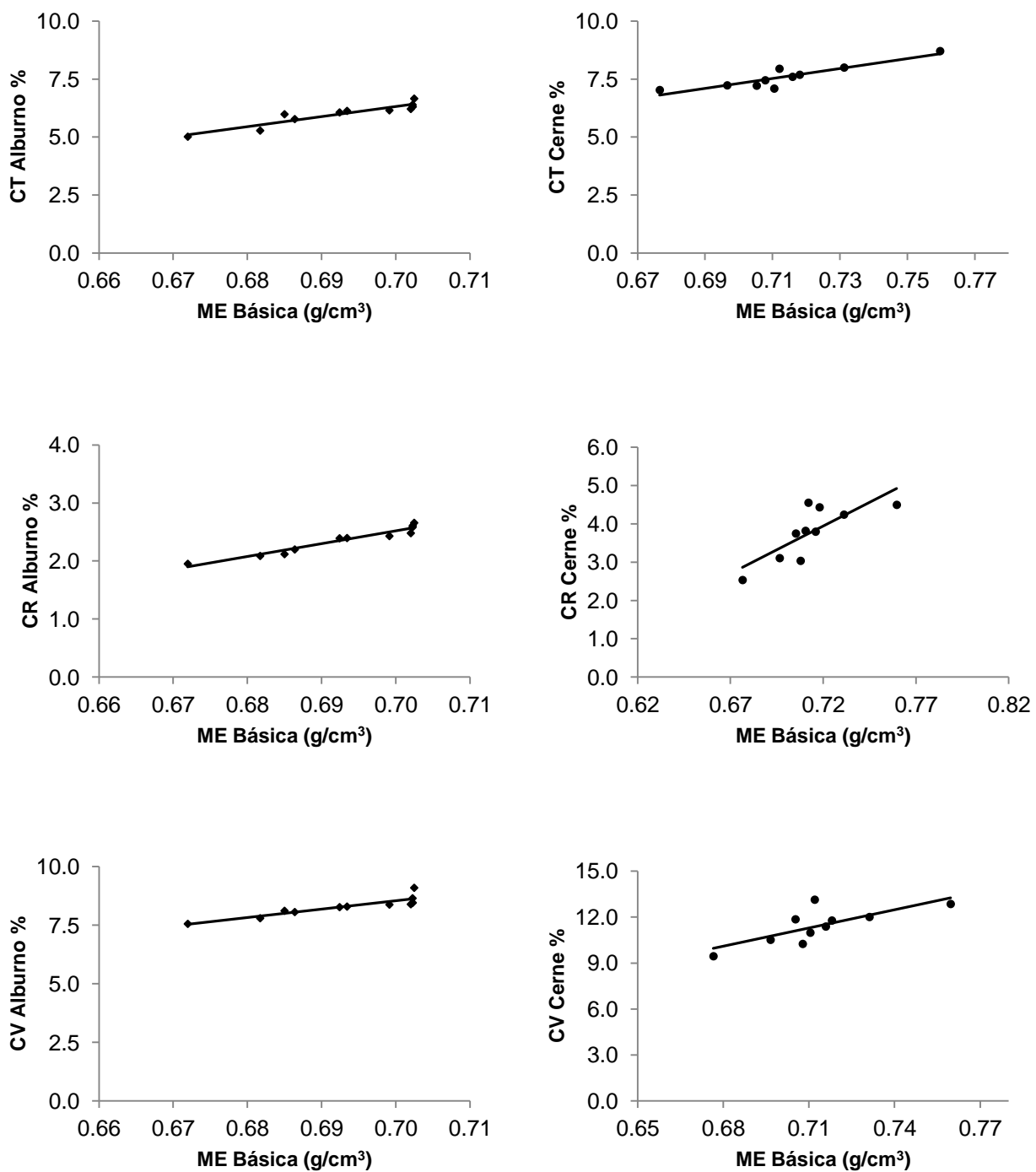


FIGURA 26 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*.

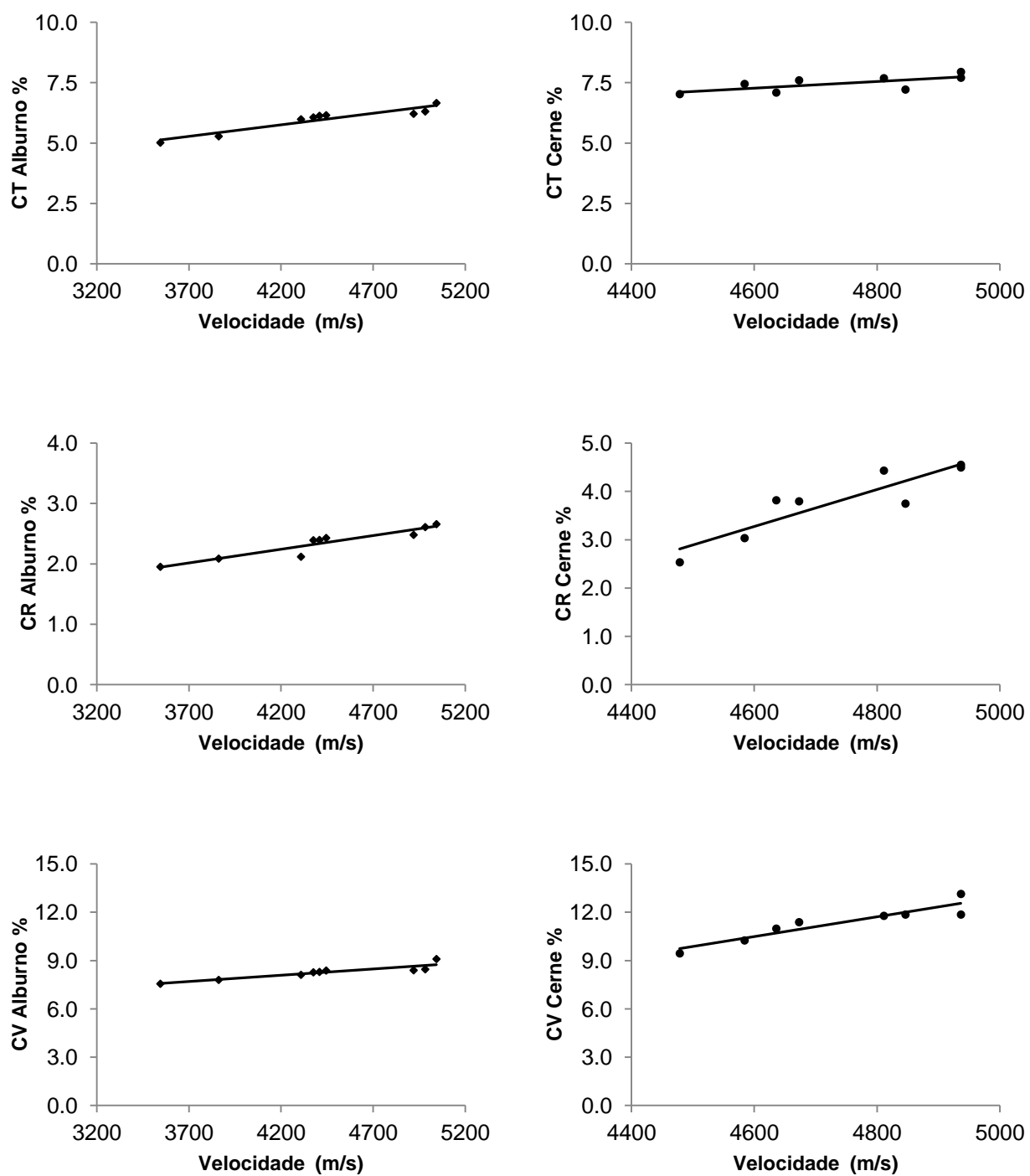


FIGURA 27 – RELAÇÃO ENTRE AS CONTRAÇÕES TANGENCIAL, RADIAL E VOLUMÉTRICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*.

TABELA 21 – MODELOS PARA ESTIMATIVAS DA RETRATIBILIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*.

Equações	R ²	F
CTA = 1,746485357+ 0,000955357* VA	0,875	57,074
CRA = 0,346272875+ 0,000451545* VA	0,870	54,886
CVA = 4,821615735+ 0,00077657* VA	0,799	32,822
CTC = 0,935768485+ 0,001378184* VC	0,430	6,283
CRC = -14,36171692+ 0,003833603* VC	0,782	26,182
CVC = -17,80398858+ 0,006150497* VC	0,837	37,161

Ocotea guianensis, apresentou correlações semelhantes as apresentadas por para *Mezilaurus itauba*, boas correlações são observadas entre as retratibilidades e a massa específica básica no cerne e no alburno. O relacionamento da massa específica com as variações anisotrópicas da madeira resultou em coeficientes acima de 0,8 tanto no cerne como no alburno. A relação entre estas propriedades já havia sido estudada por Kolmann (1959), reportando bom relacionamento.

As tabelas 20 e 21 apresentam os modelos obtidos para a estimativa da retratibilidade em função da massa específica e da velocidade de propagação das ondas no cerne e no alburno para esta espécie. Os ajustes foram melhores para a estimativa da retratibilidade no alburno, tanto em função da massa específica básica quanto em função da velocidade, no entanto os ajustes para o cerne também possibilitam boas estimativas das retratibilidades para a espécie *Ocotea guianensis*.

Observa-se que para as três espécies os modelos gerados apresentam bons ajustes. Para as espécies *M. itauba* e *O. guianensis*, apesar da escassez dos dados verifica-se que as variações podem ser estimadas com certa segurança pois a relação entre a massa específica básica e as propriedades de retração são claramente visualizadas. Os altos coeficientes de determinação neste caso não se devem aos dados, pois como se verifica para *N. cuspidata*, os resultados obtidos são semelhantes.

Lima (1996) e Oliveira (1997) observaram tendência de aumento de todos os coeficientes de contração examinados no sentido medula-casca, com uma pequena redução na medida do alburno. Tsoumis (1991), e Vital & Trugilho (1997), também

estudaram a retratibilidade da madeira em função da massa específica e assim como os outros autores, reportam correlações positivas, os resultados obtidos por estes autores e também os obtidos no presente estudo corroboram os reportados por Kollmann & Côté Jr, (1968). Segundo esses autores a magnitude da variação dimensional normalmente é maior em madeiras de maior massa específica e isso se deve à maior quantidade de madeira por unidade de volume.

Melo e Siqueira (1992) apresentaram estudos sobre a relação entre propriedades físicas de madeiras da Amazônia. Obtiveram para a relação da massa específica básica com: retratibilidade tangencial, correlações de 0,1936 e retratibilidade radial, 0,25. Logsdon (2003) apresentou um coeficiente de determinação de 0,1257 para a retração volumétrica da madeira para espécies ocorrentes no Estado do Mato Grosso. Os valores aqui apresentados nas tabelas 6 e 7 comprovam os baixos valores obtidos por estes pesquisadores, bem como demonstram a boa aplicabilidade da técnica de avaliação não destrutiva aqui empregada.

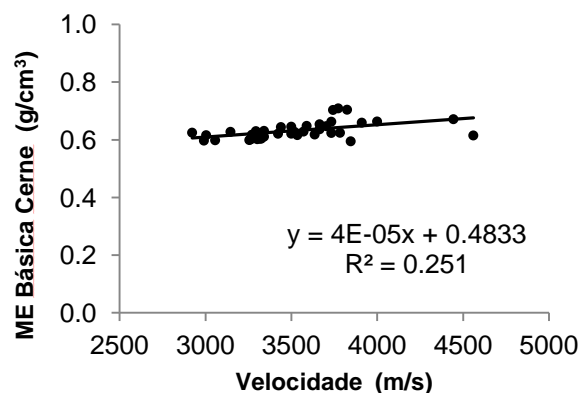
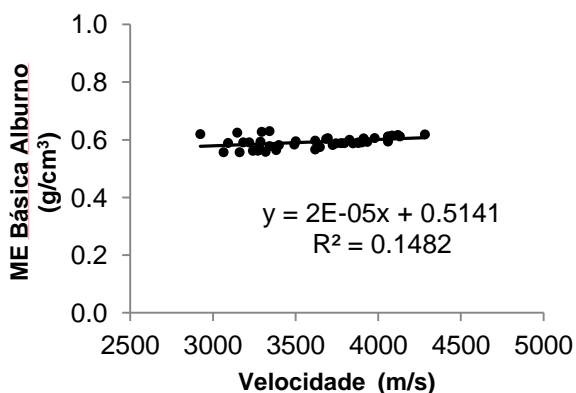
As variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras (SHIMOYAMA, 2005). O aumento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução na densidade. Segundo Panshin & De Zeeuw (1980), os efeitos são interativos e difíceis de ser avaliados isoladamente. Estas interações embora sejam difíceis de visualizar intra-especificamente e mais ainda entre indivíduos, têm boa relação com a massa específica e estão representadas nas figuras 22, 24 e 26 para as três espécies, onde pode-se perceber a relação positiva com esta propriedade.

Del Menezzi *et al* (2010), estudaram seis espécies amazônicas por meio de técnicas não destrutivas e conseguiram gerar modelos estatisticamente significativos para todas as propriedades avaliadas, apenas para uma espécie devido a grande variabilidade nos resultados. Segundo este autor, boas estimativas são mais facilmente obtidas quando os dados mesmo que discriminados por espécie, apresentam alguma variabilidade, assim o método de ondas de tensão é mais preciso quando se tem

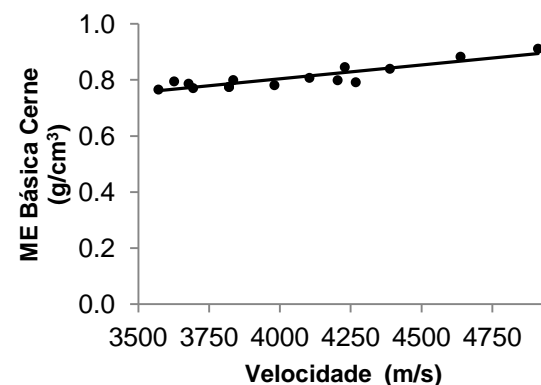
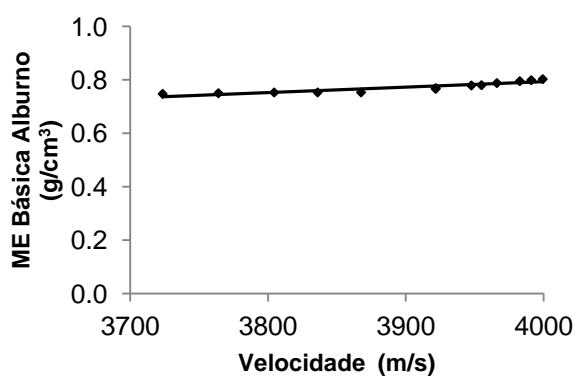
variação mais acentuada das propriedades, no entanto os resultados obtidos no presente trabalho divergem em parte de tal afirmação, pois mesmo para pequenas variações como intra-específicas o método é eficaz na avaliação. Teles (2009) utilizou três métodos não destrutivos para avaliar a rigidez em tábuas da espécie louro-vermelho (*Sextonia rubra*), cujas densidades variavam de 0,53 a 0,85 g/cm³ e obteve resultados semelhantes, observou R² superior a 0,83 para o método de ondas de tensão.

Com relação às propriedades acústicas da madeira, o método de avaliação permite avaliar mesmo características de uma única árvore, contrariando os resultados obtidos por autores como Ravenshorst *et al.* (2008), que argumentam não ser possível avaliar características para as espécies individualmente e para indivíduos menos ainda. Segundo esses autores, bons resultados tem sido obtidos desse tipo de avaliação apenas para coníferas. O resultado corrobora as afirmações de Shimoyama (2005), segundo esse autor a avaliação das propriedades acústicas da madeira pode indicar a anisotropia desse material, considerando sua relação com as características anatômicas. Conforme resultados obtidos, embora as diferenças entre as velocidades de propagação no cerne e no alburno sejam pequenas, estas foram suficientemente diferentes para ser captadas pelo equipamento utilizado, o que possibilita estimar as propriedades em cada região do cerne.

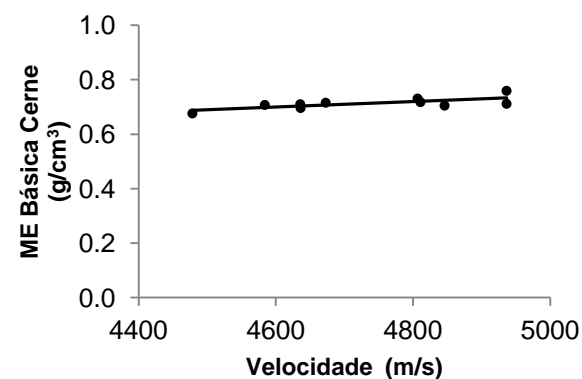
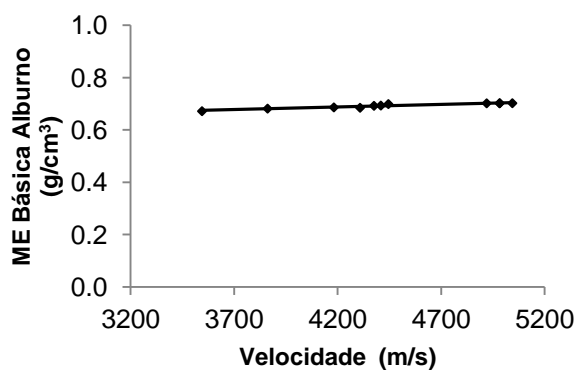
As correlações positivas obtidas para as avaliações não destrutivas já eram esperadas devido à natureza do processo de propagação das ondas. As ondas se propagam tridimensionalmente em meios elásticos, em meios heterogêneos como a madeira a dissipação da energia é maior, mas a mecânica de propagação é a mesma de materiais homogêneos, no caso da madeira, o ar constitui maior barreira para a propagação das ondas, assim quanto mais espessa a parede celular, maior a massa específica e mais facilmente a onda se propaga, no entanto, sozinha, a massa específica não é suficiente para explicar tal relação, denotando que outras características também exercem influência no comportamento das ondas.



Nectandra cuspidata



Mezilaurus itauba



Ocotea guianensis

FIGURA 28 – RELAÇÃO ENTRE A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO CERNE E NO ALBURNO PARA CADA ESPÉCIE

Assim como para a retratibilidade, tentou-se avaliar a massa específica por meio de metodologia não destrutiva, no entanto conforme se observa nas tabelas 15, 17 e 19 não foram encontradas boas correlações entre esta propriedade e a velocidade de propagação das ondas, apesar da massa específica ter afetado positivamente a velocidade, tal efeito é muito pequeno. Evidencia-se portanto que não há um relacionamento direto entre a velocidade de propagação da onda de tensão e a massa específica da madeira. Embora esta propriedade seja utilizada por muitos autores para justificar diferentes velocidades de propagação das ondas nas avaliações realizadas por metodologia não destrutiva, o comportamento das ondas não pode ser explicado exclusivamente pela massa específica básica, ressalta-se que conforme Del Menezzi *et al* (2010), essa relação também não tem sido observada em outros trabalhos.

Segundo este mesmo autor era de se esperar que para a maior massa específica, maior continuidade do material, uma conseqüentemente maior velocidade da onda, embora ocorra desta forma, a relação entre as duas características é pequena. Shimoyama (2005) obteve bons resultados ao relacionar características das fibras como comprimento, diâmetro do lume e inclinação das fibras com o tempo de propagação das ondas. Longui (2005) encontrou relação entre a massa específica e a velocidade de propagação do som para amostras de *Caesalpinia echinata*, *Tabebuia* sp. e *Manilkara* sp. De acordo com alguns autores, fibras mais longas, com paredes mais espessas e madeira com maior massa específica, implicam em maior velocidade de propagação do som (BUCUR, 1988; OLIVEIRA & SALES, 2000; BUCUR ., 2002).

Oliveira *et al.* (2002), estudaram espécies de elevada massa específica por meio de avaliação não destrutiva e obtiveram velocidades médias de propagação das ondas de 4.514 m/s para cupiúba (*Goupia glabra*, 0,83 g/cm³) e 4.279 m/s para jatobá (*Hymenaea* sp., 1,15 g/cm³). Se consideradas apenas estas duas espécies observa-se uma relação inversa entre a massa específica e a velocidade de propagação, já que para jatobá (maior massa específica) houve uma redução de 235 m/s na velocidade de propagação das ondas. Ilic (2003) avaliou características físico-mecânicas de 55 espécies madeireiras, entre estas, foram avaliadas nove espécies de folhosas da América do Sul e da África. Embora a massa específica tenha apresentado grande variação (0,097 g/cm³ a 0,855 g/cm³), a velocidade de propagação das ondas

apresentou apenas uma pequena variação (4.210 m/s a 5.540 m/s). Neste trabalho assim como Shimoyama (2005), o autor encontrou bom relacionamento entre o ângulo microfibrilar da camada S2 da parede secundária, e a velocidade de propagação das ondas de tensão.

Resultados totalmente opostos foram encontrados por Testoni *et al.* (2009) que estudando a relação entre massa específica e velocidade de propagação do som na madeira de *Plathymenia reticulata* encontraram relação negativa entre estas duas propriedades, onde maiores valores de massa específica estavam relacionados com menores velocidades de propagação do som. O mesmo resultado foi observado por Lucchi (1986), Fernandes (2004) Wang *et al.* (2003) e Calegari *et al.* (2007) para outras madeiras. Outros autores, como Feeney *et al.* (1998) relacionaram positivamente a velocidade de propagação do som à massa específica, enquanto Wegst (2006) encontrou altas velocidades de propagação do som relacionadas tanto a madeiras com alta densidade como *C. echinata* e *Manilkara* sp., quanto madeiras com baixa densidade como *Pinus sylvestri* e muito baixa como *Ochroma* sp.

De acordo com Araújo, (2002), as propriedades acústicas da madeira, relacionadas aos princípios de ressonância, radiação do som, e propriedades físicas e tecnológicas, são aplicadas a muito tempo. Dentre as motivações imbuídas nos estudos relacionados às propriedades da madeira estão construção civil e fabricação de instrumentos musicais, sendo que os resultados tem sido aplicados com segurança para seleção de material e tem propiciado bons resultados nos produtos finais. Matsunaga *et al.*, (1996); Longui, (2005) e Wegst, (2006) são alguns dos autores que ressaltam a importância do estudo das propriedades acústicas das madeiras, entre elas a velocidade de propagação do som, para a seleção de madeiras para instrumentos musicais. Tsehaye, (2000); Gonzalez, (2001); Nogueira & Ballarin, (2003); Feio, (2004), Castro, (1993) e Woodcock & Shier (2002) empregaram metodologia não destrutiva para avaliar rapidamente as propriedades mecânicas e de integridade.

As muitas divergências encontradas em vários trabalhos indicam que não há como estabelecer tendências para espécies tropicais, pois cada espécie se comporta de uma maneira, e até que se tenham trabalhos suficientes, afirmações do tipo “em

geral, quanto maior a massa específica, maior é a velocidade de propagação”, são válidas apenas para o material avaliado, não podendo ser extrapoladas.

Muitas explicações tem sido sugeridas para justificar as variações entre as regiões do cerne e do alburno das espécies, entre estas estão as dimensões e quantidade de células, características de suas paredes, além do teor de extrativos. É justamente neste ponto que reside a contribuição mais importante desta parte do presente trabalho, a capacidade do método aqui empregado em diferenciar as características físicas do cerne e do alburno. Se por um lado é sabido e aceito amplamente que o cerne e o alburno têm características diferentes, por outro lado a real diferença raras vezes é conhecida, e na maioria das vezes o alburno é descartado, contribuindo para uma exploração florestal não sustentável e corroborando as estatísticas levantadas por Clement e Higuchi (2006), que afirmam que 30% de uma tora é aproveitado, 70% vira lixo urbano e rural no ato de processamento.

Várias são as justificativas para o descarte do alburno, entre estas a inferioridade das características tecnológicas em relação ao cerne, no entanto avaliações que dimensionem quão inferior em qualidade o alburno é, são raras. Conforme estudos do INPA/CPPF, (1991) e Lira e Nascimento, (2009), frequentemente o alburno de algumas espécies apresenta características tecnológicas superiores as características do cerne de outras espécies. A facilidade de avaliação destas duas regiões da tora por meio da avaliação não destrutiva pode ajudar a mudar este panorama, reduzindo o desperdício e aumentando o rendimento do processamento primário.

5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

5.3.1 ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA E DINÂMICA POR ESPÉCIE

A tabela 22 apresenta os valores médios de MOE, MOEd e MOR, coeficientes de variação e os respectivos teste de médias para as três espécies estudadas.

TABELA 22 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE MÉDIA PARA AS VARIÁVEIS DE FLEXÃO DAS ESPÉCIES.

Espécies	Variáveis	N	Média (N/mm ²)	CV%	Tukey
<i>Nectandra cuspidate</i>	MOE		9135	10,3	
	MOEd	77	7856	19,24	C
	MOR		76,90	10,03	
<i>Mezilaurus itauba</i>	MOE		11967	14,17	
	MOEd	22	11199	6,29	B
	MOR		98,39	11,42	
<i>Ocotea guianensis</i>	MOE		13979	9,60	
	MOEd	21	11540	20,42	A
	MOR		102,40	9,10	

Legenda: N: número de amostras; MOE: Módulo de Elasticidade, MOEd: Módulo de Elasticidade Dinâmico; MOR: Módulo de Ruptura, Letras diferentes representam valores estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância

A variação dos resultados obtidos para os ensaios estáticos foi pequena, os coeficientes de variação foram em torno de 15,7% para o ensaio de flexão estática e de 6,4% para o ensaio dinâmico. A espécie que apresentou maior variação (15,7%) nos resultados foi *Nectandra cuspidata*, *Mezilaurus itauba* e *Ocotea guianensis* apresentaram coeficientes de variação de 10,9% e 6,4%, respectivamente. A maior variabilidade dos resultados obtidos para o *N. cuspidata*, pode estar relacionado ao maior número de amostras realizadas para esta espécie. No entanto a ANOVA realizada entre os valores de resistência obtidos para a espécie, foi não significativa. Os corpos de prova desta espécie foram retirados de três árvores, enquanto os corpos

de prova de *M. itauba* e *O. guianensis*, foram retirados de apenas uma árvore, embora todas procedentes de uma mesma região.

Nos ensaios dinâmicos, a velocidade de propagação das ondas obtida no sentido longitudinal é bastante sensível às diferenças anatômicas, tal sensibilidade deve-se diretamente à continuidade dos elementos estruturais, conforme Shimoyama (2005), essa característica é refletida na amplitude encontrada entre os valores máximos e mínimos de velocidade. Verifica-se coerência nos resultados apresentados neste trabalho uma vez que não distam dos valores reportados na literatura, e as variações apresentadas já eram esperadas pois o lote ensaiado, além de homogêneo, não apresentava, visualmente, distorções de fibras, nós ou outros defeitos.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS E TESTE DE MÉDIA PARA AS VARIÁVEIS DE FLEXÃO DAS ESPÉCIES DISCRIMINADO ENTRE CERNE E ALBURNO.

Espécies		N	Variáveis	Média (N/mm ²)	CV%
<i>Nectandra cuspidata</i>	ALBURNO	38	MOE	8921b	13,27
			MOEd	7879a	19,65
			MOR	75,14a	10,77
	CERNE	39	MOE	9344a	12,78
			MOEd	7833a	18,83
			MOR	79,62a	9,85
<i>Mezilaurus itauba</i>	ALBURNO	11	MOE	9400b	16,22
			MOEd	9020b	2,74
			MOR	88,28b	16,62
	CERNE	11	MOE	12772a	12,12
			MOEd	12351a	9,83
			MOR	107,23a	6,22

continua...

...continuação

<i>Ocotea guianensis</i>	ALBURNO	10	MOE	13846a	9,32
			MOEd	13796a	11,67
			MOR	98,66b	10,23
	CERNE	11	MOE	14127a	1021
			MOEd	13489a	26,05
			MOR	106,62a	6,19

Legenda: N: número de amostras; MOE: Módulo de Elasticidade, MOEd: Módulo de Elasticidade Dinâmico; MOR: Módulo de Ruptura, Letras diferentes representam valores estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância.

O rastreamento dos corpos de prova permitiu realizar as análises mecânicas discriminadas entre cerne e alburno. O teste de médias entre as espécies segue o mesmo padrão dos testes realizados para todo o conjunto de dados, com *O. guianensis* apresentando os maiores valores seguida de *M. itauba* e *N. cuspidata*. Os diferentes valores de resistência verificados para cada região, nos ensaios estático e dinâmico, denotam as diferenças anatômicas e estruturais existentes. Importante característica também observada é que não há diferenciação estatística entre os valores de resistência obtidos nos testes mecânicos, entre as regiões de cerne e alburno, e quando esta é verificada, os valores não são discrepantes.

Essa característica é de grande importância nos processos industriais e este resultado indica que os procedimentos de descarte do alburno adotados na maior parte das indústrias de processamento, sob a justificativa de que o alburno possui características tecnológicas inferiores, deve ser repensado. Se considerarmos, o aspecto cor, hoje existem processos de homogeneização da cor da madeira que resolveriam este problema, por outro lado em se tratando da durabilidade natural, técnicas de preservação poderiam ser empregadas para resolver este problema. Desta forma algumas das justificativas utilizadas para descartar o material do alburno, não se aplicam.

5.3.2 MODELAGEM DAS VARIÁVEIS MECÂNICAS POR ESPÉCIE

Conforme parágrafo anterior não foi verificado a existência de diferença estatística entre os valores médios de resistência à flexão entre as regiões de cerne e

alburno. O procedimento usual seria continuar avaliando os dados em um único conjunto e não discriminá-los por região. No presente trabalho decidiu-se discriminar as duas regiões pela escassez de tal abordagem na literatura, sendo que possíveis diferenças no comportamento acústico das duas regiões e sua relação com as propriedades mecânicas são pouco estudadas. Assim, o relacionamento entre as variáveis mecânicas e a velocidade de propagação das ondas de tensão para as espécies foi realizado distinguindo as regiões de cerne e alburno.

Na tabela 24 estão descritas as correlações entre as variáveis de flexão estudadas, massa específica e a velocidade de propagação das ondas para a espécie *Nectandra cuspidata*. As figuras e tabelas na sequência apresentam o relacionamento na forma gráfica, bem como as equações de regressão ajustadas para estimativa das propriedades. Embora a tabela 25 apresente somente a expressão final da regressão (equações) e os coeficientes de determinação da regressão, é importante salientar que testes de normalidade foram realizados para todos os resultados e para todas as análises de regressão (teste F). Os testes de normalidade indicaram não ser possível se rejeitar a hipótese de normalidade dos dados e as análises da regressão apontaram para a significância dos modelos adotados, ao nível de 5%.

TABELA 24 - CORRELAÇÃO DE *Pearson* ENTRE AS VARIÁVEIS MECÂNICAS PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*.

	VA	MEA	MOEA	MORA	MOEd A	VC	MEC	MOEC	MORC	MOEd C
VA	1									
MEA	0,26904	1								
MOEA	0,86314	0,77236	1							
MORA	0,76418	0,71895	0,84954	1						
MOEd A	0,82084	0,75683	0,91607	0,82960	1					
VC	0,40283	0,07914	0,24429	0,26779	0,25622	1				
MEC	0,28625	-0,04324	0,23581	0,30053	0,25988	0,23041	1			
MOEC	0,61930	0,23572	0,47402	0,50659	0,46309	0,78549	0,73396	1		
MORC	0,50745	0,35654	0,35883	0,41857	0,43653	0,76550	0,70696	0,91103	1	
MOEd C	0,55505	0,10270	0,38179	0,36450	0,40341	0,78866	0,83714	0,90649	0,85633	1

Legenda: VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne, MEA: Massa Específica Básica no Alburno, MEC: Massa Específica Básica no Cerne, MOEA: Módulo de Elasticidade no Alburno, MOEC: Módulo de Elasticidade no Cerne, MORA: Módulo de Ruptura no Alburno, MORC: Módulo de Ruptura no Cerne, MOEd A: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Alburno, MOEd C: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Cerne

TABELA 25 - MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*.

Equações	R ²	F
MOEA = 1267,556357 + 12608834936 * MEA	0,5929	5,7949
MORA = -7,526454 + 136,181099 * MEA	0,5169	22,4196
MOEdA = -7007,827631 + 24524719173 * MEA	0,5728	16,1836
MOEC = -2608,134271 + 19519262382 * MEC	0,5387	11,0755
MORC = -3,615787 + 134,302488 * MEC	0,4998	11,2892
MOEdC = -9082043884 + 27625300895 * MEC	0,7008	15,8168

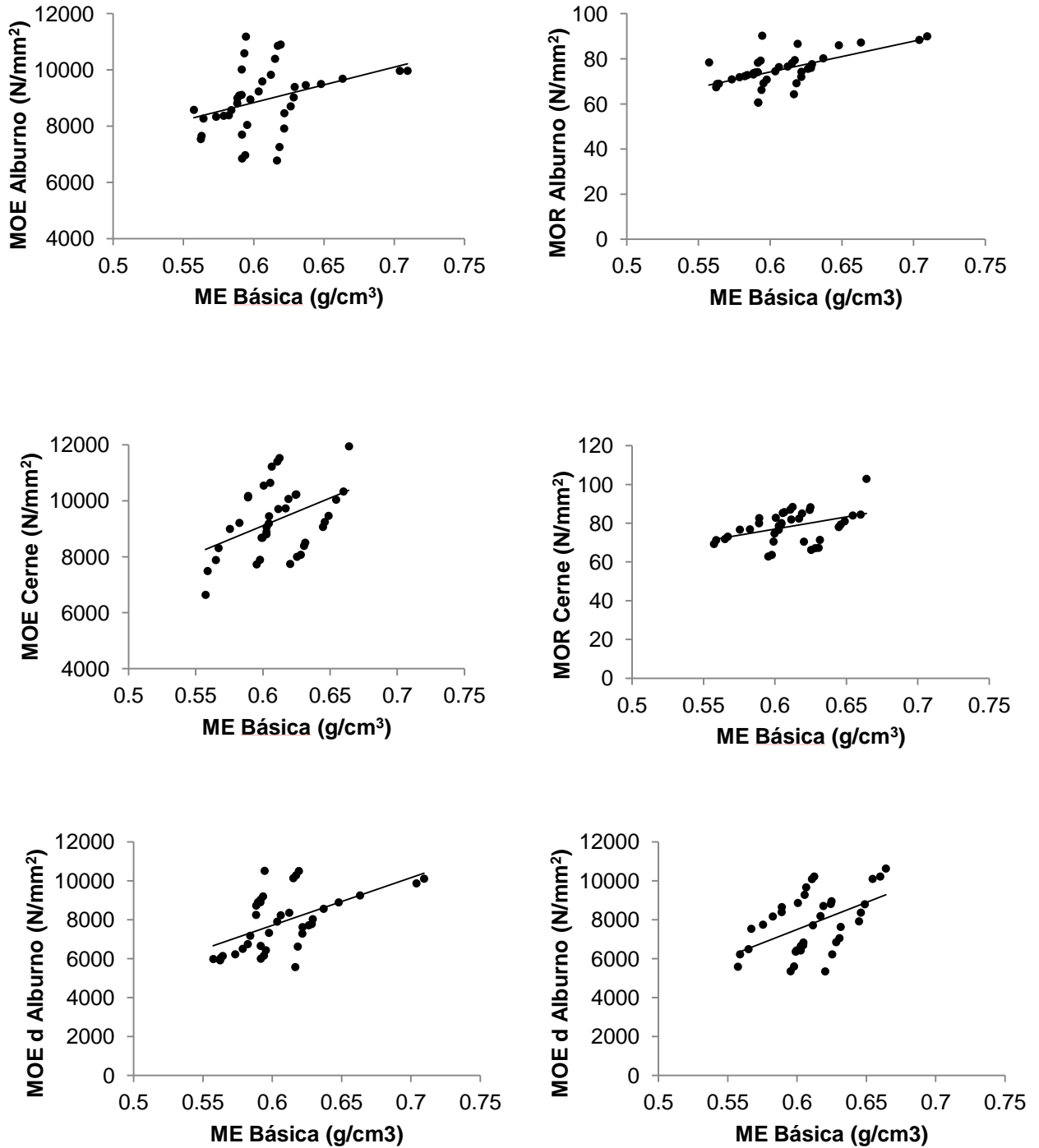


FIGURA 29 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*

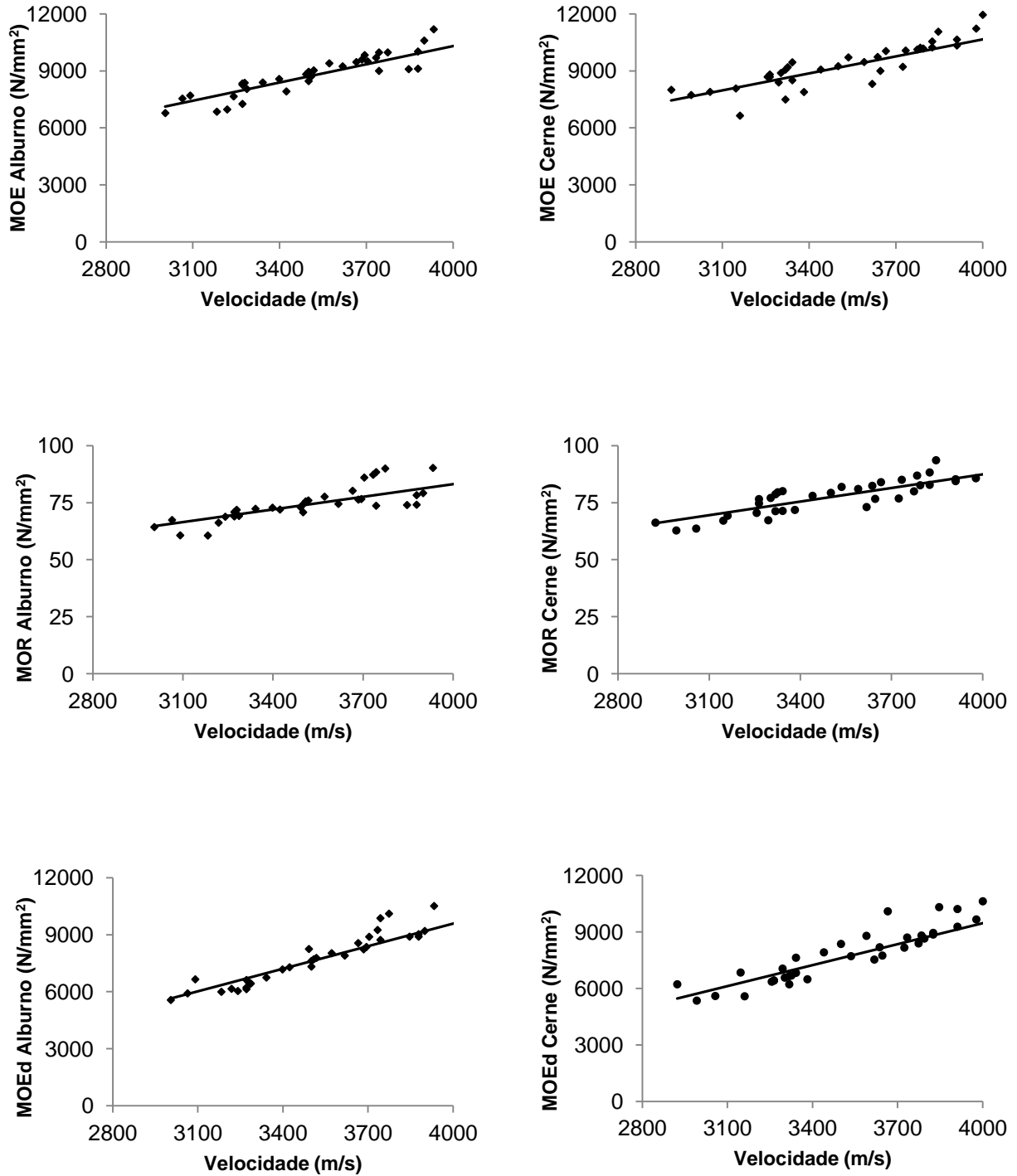


FIGURA 30 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*

TABELA 26 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE *Nectandra cuspidata*.

Equações	R ²	F
MOEA = -2465,224906+ 3,190691* VA	0,745	108,919
MORA = 9,365228+ 0,018430* VA	0,584	52,896
MOEdA = -6238,394056+ 3,955926* VA	0,674	77,590
MOEC = -1265,726415+ 2,980857* VC	0,617	62,305
MORC = 7,912660+ 0,019866* VC	0,586	54,887
MOEdC = -5383,09880+ 3,71330* VC	0,622	63,501

Legenda: VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne, MOEA: Módulo de Elasticidade no Alburno, MOEC: Módulo de Elasticidade no Cerne, MORA: Módulo de Ruptura no Alburno, MORC: Módulo de Ruptura no Cerne, MOEd A: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Alburno, MOEd C: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Cerne.

Para o conjunto dos dados formados para *N. cuspidata*, destacando-se o valor da estatística F, é superior ao crítico, evidenciando estatisticamente a existência de dependência linear. O nível de intensidade de ligação entre as características dinâmicas e estáticas foi analisado com base em regressões simples. As equações das tabelas 27 e 28 expressam as correlações existentes entre o MOE, MOR e MOEd, em função da massa específica básica e da velocidade de propagação das ondas de tensão. As relações existentes entre as variáveis foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. Boas correlações entre estas variáveis já eram esperadas, pois a massa específica tem estreita relação com as variáveis mecânicas, bem como a velocidade de propagação.

Todas as amostras obtidas foram submetidas ao método de ensaio não destrutivo, visando determinar o MOEd. Os valores médios do MOEd das amostras segregadas e juntas das regiões cerne e alburno, são apresentados na Tabela 23. É possível observar que os valores médios do MOEd das regiões foram próximos. De fato, a análise de variância realizada mostrou não haver diferença significativa para as médias do MOEd entre as regiões cerne e alburno. A seguir estão as análises para a espécie *Mezilaurus itauba*.

TABELA 27 - CORRELAÇÃO DE *Pearson* ENTRE AS VARIÁVEIS MECÂNICAS PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*.

	VA	MEA	MOEA	MORA	MOEd A	VC	MEC	MOEC	MORC	MOEd C
VA	1									
MEA	0,89251	1								
MOEA	0,88799	0,87766	1							
MORA	0,96172	0,90830	0,94405	1						
MOEd A	0,97891	0,81648	0,94179	0,95094	1					
VC	0,86789	0,94046	0,97289	0,92848	0,87702	1				
MEC	0,02370	-0,02561	-0,21000	-0,04832	-0,05330	-0,29786	1			
MOEC	0,88955	0,96229	0,97532	0,92755	0,89779	0,98006	0,89520	1		
MORC	0,96742	0,90848	0,97533	0,96174	0,98384	0,93417	0,91369	0,95757	1	
MOEd C	0,87658	0,95284	0,94348	0,91467	0,87719	0,93325	0,85379	0,98120	0,94545	1

Legenda: VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne, MEA: Massa Específica Básica no Alburno, MEC: Massa Específica Básica no Cerne, MOEA: Módulo de Elasticidade no Alburno, MOEC: Módulo de Elasticidade no Cerne, MORA: Módulo de Ruptura no Alburno, MORC: Módulo de Ruptura no Cerne, MOEd A: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Alburno, MOEd C: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Cerne

TABELA 28 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*.

Equações	R ²	F
MOEA = -5994673848 + 9055112433* MEA	0,77029	21,1199
MORA = -597,40782 + 895,34406* MEA	0,82501	29,2894
MOEdA = -2085,42717 + 17776,22874* MEA	0,66665	12,9995
MOEC = 3218,96236 + 0,1269346797* MEC	0,80140	29,2477
MORC = 66,76438 + 53,77097* MEC	0,83484	36,3831
MOEdC = -6173,55265 + 24613,96437* MEC	0,72896	19,8268

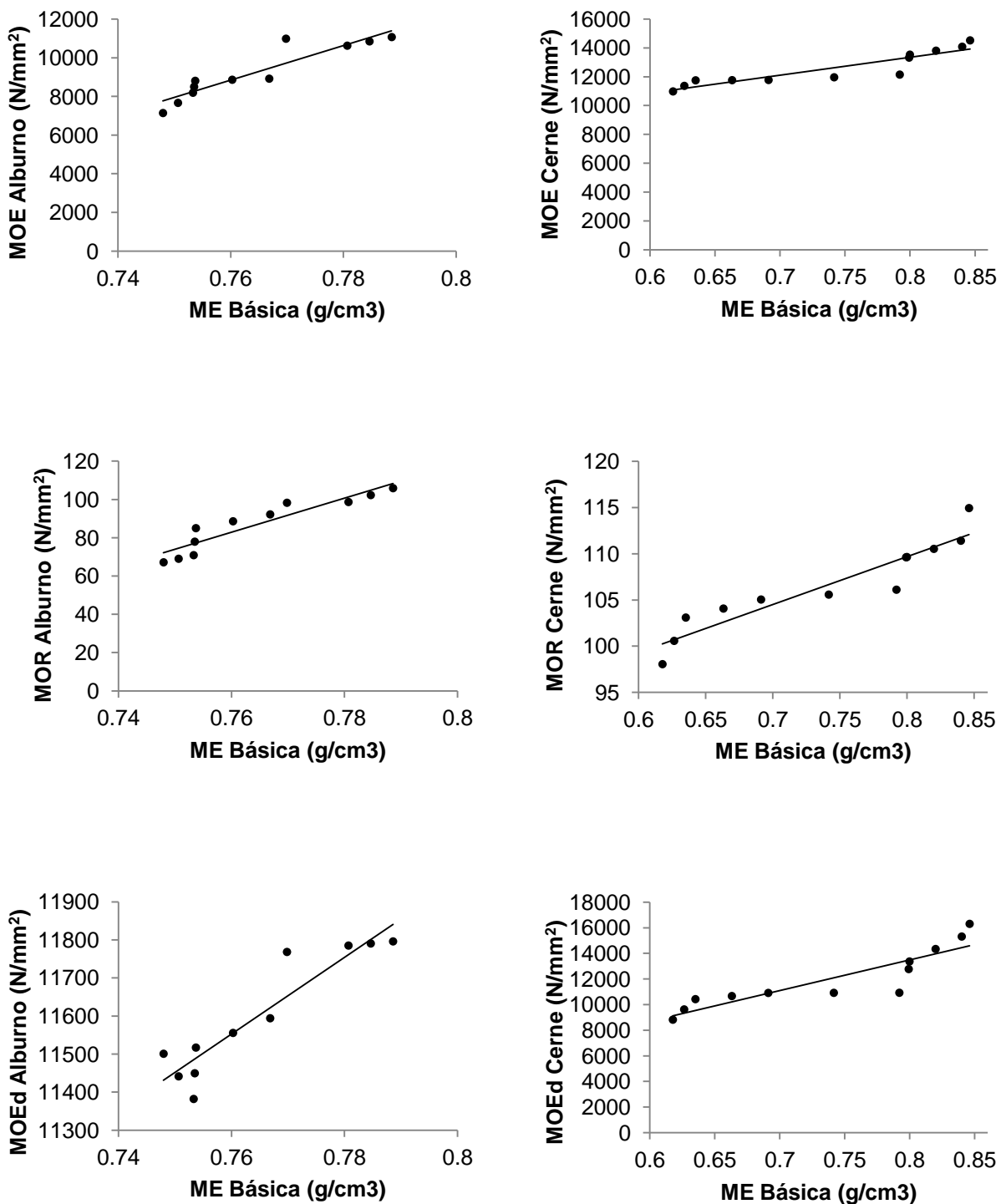


FIGURA 31 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*

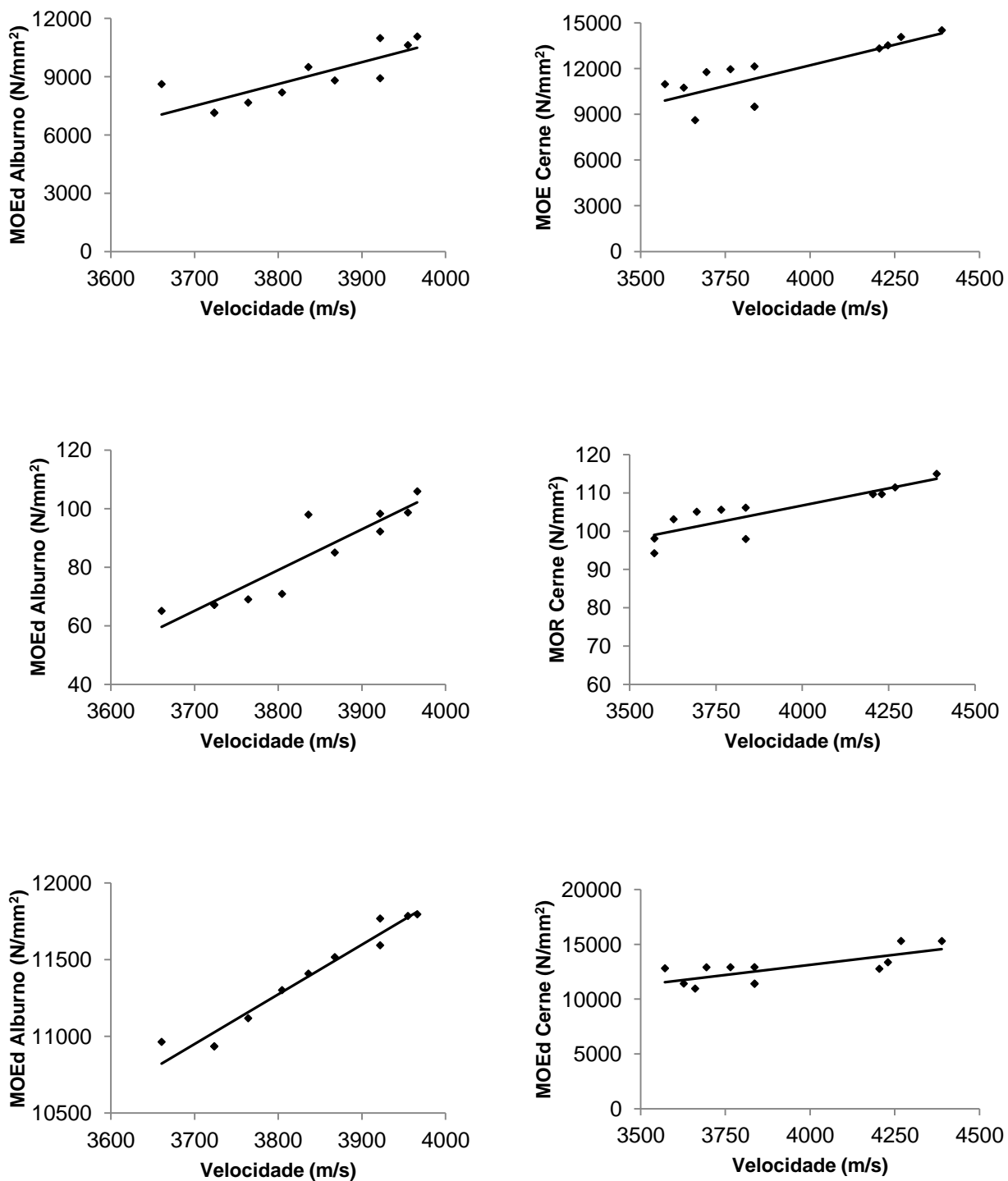


FIGURA 32 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*

TABELA 29 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE *Mezilaurus itauba*.

Equações	R ²	F
MOEA = -5139292570 + 15,66885* VA	0,78853	23,37344
MORA = -535,60238 + 0,16080* VA	0,92491	74,90879
MOEdA = -2140,72893 + 3,52303* VA	0,95826	138,73756
MOEC = -2325,32862 + 3,79586* VC	0,96053	171,33992
MORC = 46,85464 + 0,01518* VC	0,87268	48,97919
MOEdC = -6173,55265 + 24613,96437* VC	0,87096	48,24745

Legenda: VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne, MOEA: Módulo de Elasticidade no Alburno, MOEC: Módulo de Elasticidade no Cerne, MORA: Módulo de Ruptura no Alburno, MORC: Módulo de Ruptura no Cerne, MOEd A: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Alburno, MOEd C: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Cerne

Para o conjunto dos dados formados para *M. itauba*, assim como para a espécie anteriormente analisada, com relação ao valor da estatística F, verifica-se que é superior ao valor crítico, evidenciando estatisticamente a existência de dependência linear ao nível de 5% de significância. O nível de intensidade da relação entre as características dinâmicas e estáticas foi analisado por meio de regressões simples. As equações das tabelas 28 e 29 expressam as correlações existentes entre o MOE, MOR e MOEd, em função da massa específica básica e da velocidade de propagação das ondas de tensão para espécie *M. itauba*.

Tendo em vista a estreita relação entre a massa específica e as propriedades mecânicas, estes altos valores dos coeficientes de correlação já eram esperados, no entanto o super ajuste dos modelos também pode estar relacionado ao tamanho reduzido da amostra, conforme relatado por Hair Jr *et al.*, (2005). *Mezilaurus itauba*, foi a única espécie que apresentou diferenças estatísticas entre as variáveis de flexão, para as regiões de cerne e alburno, no entanto não é possível afirmar com certeza a validade de tal relação devido ao limitado número de amostras analisadas para esta espécie. A seguir estão as análises para a espécie *Ocotea guianensis*.

TABELA 30 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS MECÂNICAS PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*.

	VA	MEA	MOEA	MORA	MOEd A	VC	MEC	MOEC	MORC	MOEd C
VA	1									
MEA	0,95152	1								
MOEA	0,90807	0,96167	1							
MORA	0,96493	0,96989	0,97826	1						
MOEd A	0,99800	0,94196	0,89021	0,95287	1					
VC	0,82902	0,74236	0,62994	0,74106	0,85839	1				
MEC	0,81284	0,70824	0,57343	0,77422	0,83675	0,89351	1			
MOEC	0,98153	0,89838	0,72833	0,82502	0,91178	0,98417	0,91358	1		
MORC	0,88944	0,85246	0,85962	0,92073	0,93474	0,90606	0,82462	0,95135	1	
MOEd C	0,98747	0,86804	0,63143	0,74623	0,87092	0,98927	0,88812	0,97594	0,87560	1

Legenda: VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne, MEA: Massa Específica Básica no Alburno, MEC: Massa Específica Básica no Cerne, MOEA: Módulo de Elasticidade no Alburno, MOEC: Módulo de Elasticidade no Cerne, MORA: Módulo de Ruptura no Alburno, MORC: Módulo de Ruptura no Cerne, MOEd A: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Alburno, MOEd C: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Cerne

TABELA 31 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*.

Equações	R ²	F
MOEA = -6795345392 + 11816536679 * MEA	0,9244	98,7900
MORA = -543,17677 + 927,18291 * MEA	0,9407	127,8521
MOEdA = -18378679557 + 28542319197 * MEA	0,8873	63,9586
MOEC = -1168850590 + 3586136963 * MEC	0,8071	30,2835
MORC = 2,18999 + 145,05847 * MEC	0,7267	12,7502
MOEdC = -7429834005 + 11571290904 * MEC	0,7535	22,4028

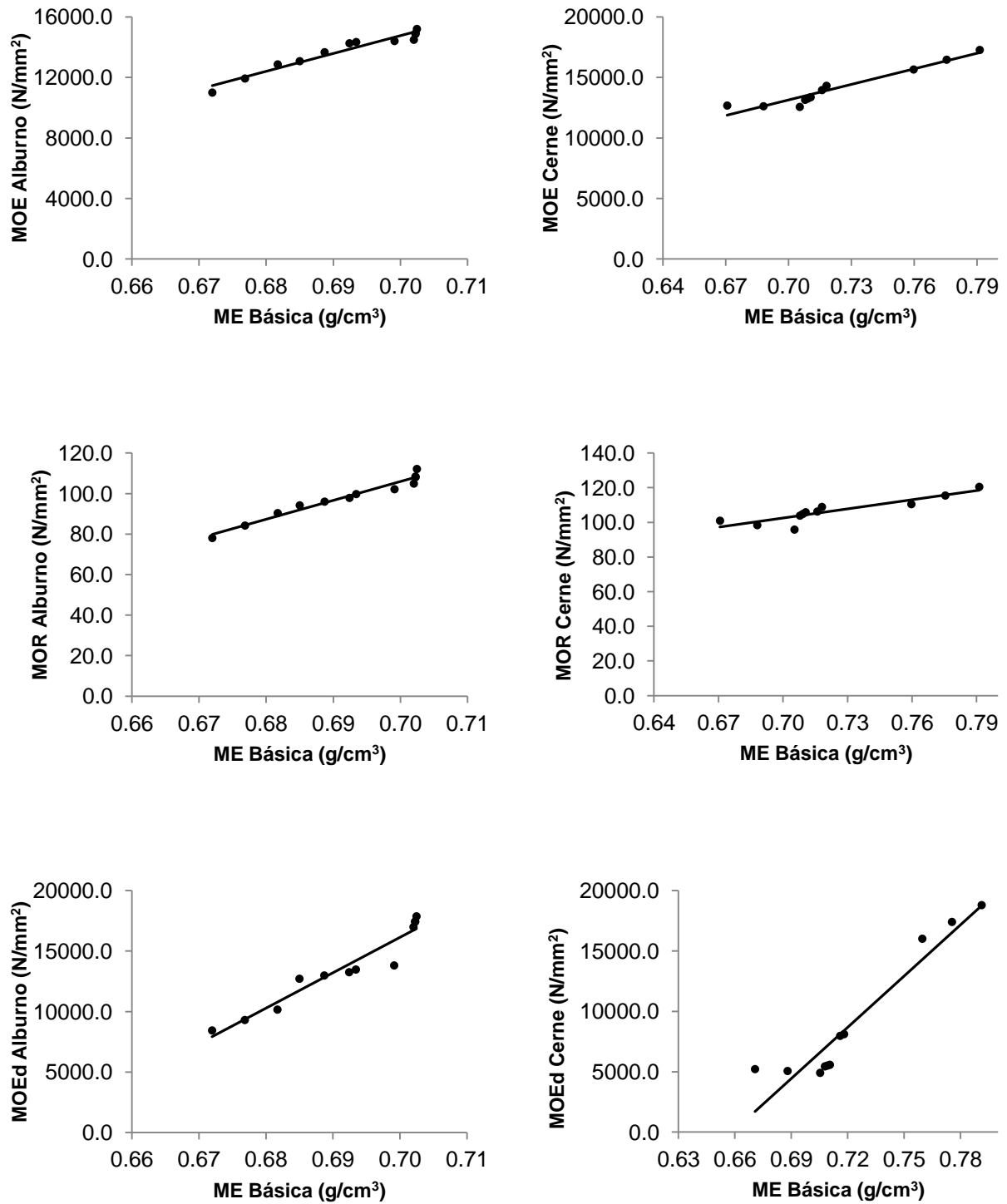


FIGURA 33 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*

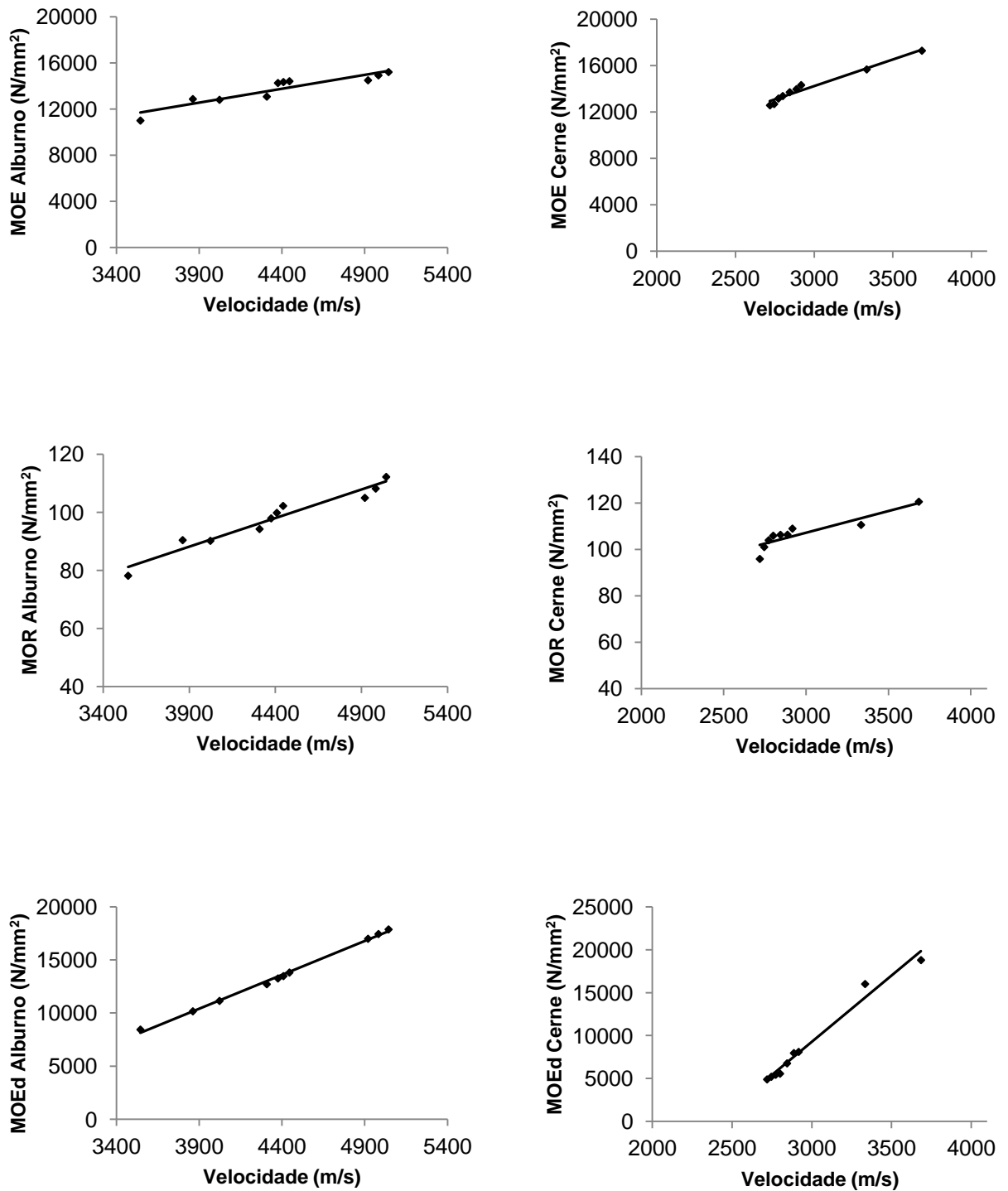


FIGURA 34 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*

TABELA 32 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA A ESPÉCIE *Ocotea guianensis*.

Equações	R ²	F
MOEA = 3256,67264 + 2,38949* VA	0,8246	38,5991
MORA = 11,77586 + 0,01961* VA	0,9311	109,1778
MOEdA = -1445061265 + 6,37390* VA	0,9959	1955,3220
MOEC = 339,97820 + 4,62345* VC	0,9634	185,0694
MORC = 49,73240 + 0,01907* VC	0,7911	27,5094
MOEdC = -3699893903 + 15,42560* VC	0,9751	275,0778

Legenda: VA: Velocidade de propagação da Onda no Alburno; VC: Velocidade de propagação no Cerne, MOEA: Módulo de Elasticidade no Alburno, MOEC: Módulo de Elasticidade no Cerne, MORA: Módulo de Ruptura no Alburno, MORC: Módulo de Ruptura no Cerne, MOEd A: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Alburno, MOEd C: Módulo de Elasticidade Dinâmico no Cerne

Para o conjunto dos dados formados pela espécie *O. guianensis*, assim como para as espécies anteriormente analisadas, o valor da estatística F, é superior ao valor crítico, evidenciando a existência de dependência linear. Assim a análise da intensidade da relação entre as características dinâmicas e estáticas foi realizada por meio de regressões simples. As equações das tabelas 31 e 32 expressão as correlações existentes entre o MOE, MOR e MOEd, em função da massa específica básica e da velocidade de propagação das ondas de tensão para espécie *O. guianensis*. Assim como para a espécie *M. itauba*, o super ajuste dos modelos pode estar relacionado ao tamanho reduzido da amostra, conforme relatado por Hair Jr *et al.*, (2005). De acordo com esse autor, o tamanho da amostra, tem um impacto direto sobre a adequação e o poder estatístico da regressão.

Amostras pequenas são apropriadas para análises de regressão utilizando poucas variáveis independentes. Mesmo nessas situações, apenas relações muito fortes podem ser detectadas com algum grau de certeza. Do mesmo modo, amostras muito grandes tornam os testes de significância estatística muito sensíveis, muitas vezes indicando que quase qualquer relação é estatisticamente significativa. O tamanho da amostra também afeta a generalização dos resultados pela proporção entre observações e variáveis independentes. Uma regra geral é que a razão jamais deve ficar abaixo de 5 para 1, o que significa que deve haver

cinco observações para cada variável independente. Se essa proporção ficar abaixo de 5 para 1, corre-se o risco de superajustar a variável dependente com a amostra, tornando os resultados demasiadamente específicos à amostra e assim perdendo a generalização. No entanto como no presente trabalho, o objetivo não é reportar valores de referência para as espécies analisadas, o reduzido número de amostras analisadas para as espécies *M. itauba* e *O. guianensis*, não comprometem a validade dos resultados.

As equações apresentadas nas tabelas 24, 27 e 30 mostram as correlações existentes entre o módulo de elasticidade dinâmico, módulo de ruptura estático, módulo de elasticidade estático e as variáveis massa específica básica e velocidade de propagação das ondas de tensão. Estas relações se mostraram sempre significativas para as três espécies estudadas e fornecem informações importantes permitindo prever, com base na velocidade das ondas de tensão, os módulos de ruptura e de elasticidade da madeira. Bucur (1984) e Sandoz (1989) obtiveram boas relações entre estas duas variáveis para outras espécies de madeira. O fato de não haver diferenças entre as regiões cerne e alburno, é de grande importância, pois sugere que as espécies têm como característica a formação de madeira homogênea, embora apresente diferenciação visual.

Oliveira *et al.* (2002) obtiveram R^2 variando de 0,36 a 0,63 para a relação entre propriedades de flexão e velocidade do som em *Goupia glabra* e *Hymenea* sp.. Ravenshorst *et al.* (2008) estudaram nove madeiras tropicais oriundas da América do Sul e África por meio da técnica de ondas de tensão e encontraram $R^2=0,63$ para a estimativa da rigidez. Del Menezzi *et al.*, (2010) argumentam que baixos coeficientes de determinação são encontrados em avaliações intra específicas, devido à baixa variabilidade observada para as propriedades, e concluem que nestas condições quando a variabilidade é pequena, os modelos para estimativa das propriedades de flexão apresentam baixa previsibilidade, assim, o método de avaliação por meio de ondas de tensão é mais preciso quando se tem variação mais acentuada das propriedades, como ocorrido quando se fez a análise com várias espécies. Tal afirmação é contraditória aos resultados encontrados no presente trabalho em especial para a espécie *N. cuspidata*, que teve um maior número de amostras realizadas, mesmo com baixa variabilidade, os modelos demonstraram-se significativos. Tal resultado corrobora o obtido por Teles (2009) que empregou três métodos não destrutivos para avaliar a rigidez em tábuas

da espécie louro-vermelho (*Sextonia rubra*), cujas densidades variavam de 0,53 a 0,85 g/cm³, e observou R² superior a 0,83 para o método de ondas de tensão.

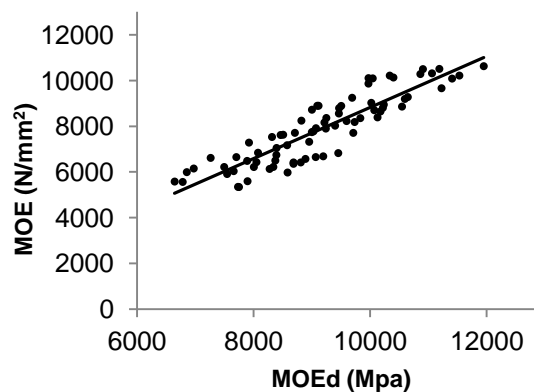
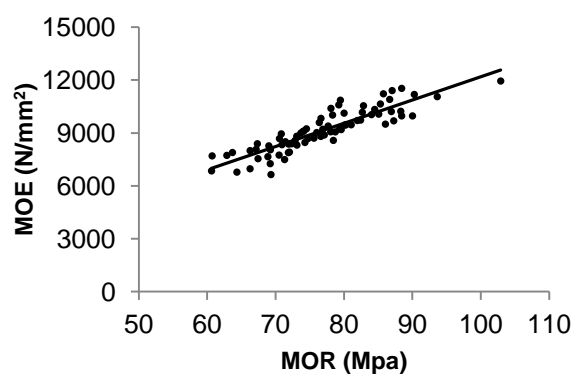
Na avaliação do MOE, importante propriedade de resistência à flexão estática, normalmente são encontradas grandes variações entre e dentro das espécies, mesmo para as que tiveram apenas uma árvore avaliada. Tal característica pode ser inerente à espécie, mas pode estar associada à outros fatores como teor de umidade do corpo-de-prova no momento da avaliação, embora todos corpos de prova avaliados tenham tido seu teor de umidade controlado, variações presentes podem ter influenciado e contribuído para a variação verificada nos resultados. No momento da realização dos ensaios o teor de umidade variava de 9 a 16%.

Além desta relação é possível que a interação destes dois fatores também possa estar agindo, neste sentido as maiores velocidades de propagação de ondas são geralmente obtidas em madeiras que apresentam maiores densidades e menores teores de água (Carrasco & Azevedo Júnior, 2003; Oliveira Sales, 2005; Bucur, 2006). As pesquisas conduzidas para avaliação do MOE, normalmente apresentam alta variabilidade de valores para esta propriedade, entre estas podemos citar Koch, (1972), Muñiz, (1993), Lara Palma, (1994), Klock, (2000) e Shimoyama, (2005), que embora tenham avaliado coníferas, reportam os mesmos resultados quanto a variação desta propriedade, sugerindo que a espécie parece não influenciar neste ponto.

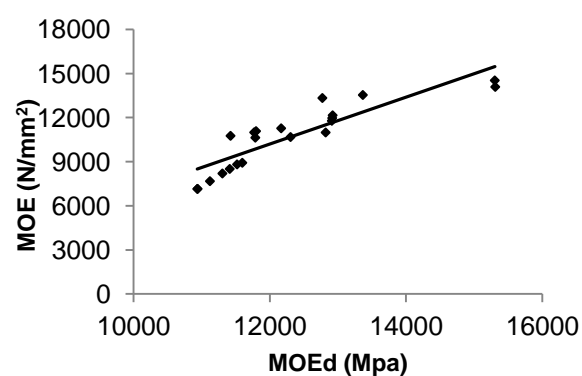
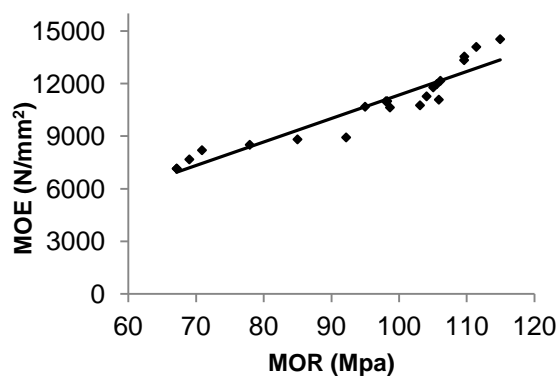
Grande parte das espécies amazônicas comerciais não apresentam diferenciação visual entre o cerne e o alburno, embora seja sabido da existência destas áreas distintas. Muito embora o método de avaliação seja capaz de detectar as diferenças tecnológicas presentes nestas duas regiões, faz-se necessário considerar o poder de extrapolação de tais estimativas. Algumas espécies apresentam uma pequena quantidade de cerne em relação ao alburno, Neste caso deve-se ressaltar que quando deparar-se com esta situação os modelos a se utilizar são os do cerne, pois são mais representativos, o mesmo raciocínio vale quando se fala de espécies com pouco cerne e alburno mais pronunciado.

5.4 RELAÇÃO ENTRE AS VÁRIÁVEIS DE FLEXÃO ESTÁTICA E DINÂMICA PARA CADA ESPÉCIE

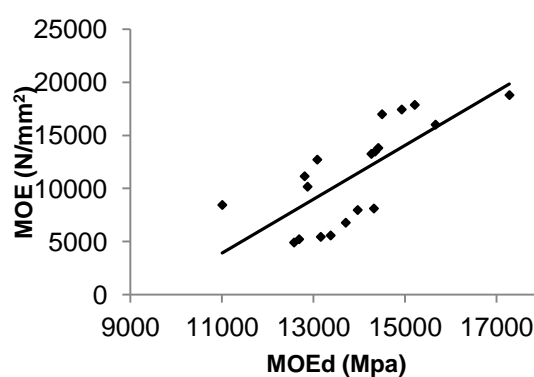
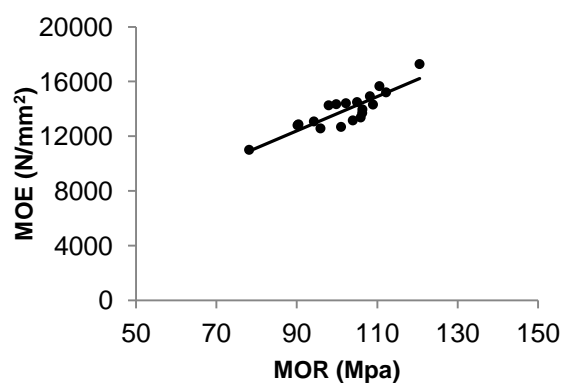
A seguir está ilustrado graficamente o relacionamento das variáveis de flexão para as três espécies estudadas.



Nectandra cuspidata



Mezilaurus itauba



Ocotea guianensis

FIGURA 35 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS PARA AS TRES ESPÉCIES

TABELA 33 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE AS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS.

Espécies	Equações	R ²	F
<i>N. cuspidata</i>	MOE = -1023,73963 + 13210525 * MOR	0,7886	284,44
	MOE = 3496,82947 + 0,71774 * MOEd	0,8005	305,89
<i>M. itauba</i>	MOE = -4056,61240 + 154,48931 * MOR	0,8365	67,52
	MOE = 1074,42650 + 0,85975 * MOEd	0,6180	10,33
<i>O. guianensis</i>	MOE = -60,01285 + 136,87423 * MOR	0,6642	30,66
	MOE = 1181,172370 + 0,20050 * MOEd	0,6234	25,83

Legenda: MOE: Módulo de Elasticidade no teste Destrutivo, MOR: Módulo de Ruptura, MOEd: Módulo de Elasticidade Dinâmico no teste não destrutivo.

Para melhor visualização dos resultados, são apresentados, na Figura 35, os gráficos representativos das correlações entre os resultados obtidos nos ensaios estáticos de flexão (MOE) e os obtidos nos ensaios dinâmicos (MOEd). Os resultados de MOE e MOR obtidos para as três espécies estão na mesma faixa de variação dos resultados obtidos por Del Menezzi *et al.*, (2010), cujos valores médios foram de 10000 a 20000 MPa e de 50 a 200,0 MPa, respectivamente. As diferenças verificadas podem ser atribuídas a diferenças estruturais, entre estas a massa específica das espécies.

Verifica-se na figura 35 que os valores do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) foram sempre superiores ao módulo de elasticidade estático (MOE), confirmando os resultados apresentados por Bodig e Jayne (1993), que afirmam que normalmente o valor do módulo de elasticidade dinâmico são superiores aos valores do módulo de elasticidade estático. Os resultados deste trabalho mostram, que para a madeira de *N. cuspidata* o MOEd é em média 16,29% inferior ao MOE, para *M. itauba* e para *O. guianensis* o MOEd é em média 7,45% e 21,13% superior ao MOE, respectivamente. Os resultados obtidos são compatíveis com os de Bartholomeu (2001), Nogueira e Ballarin (2002) e Puccini (2002) que encontraram relações MOEd/MOE na direção longitudinal entre 1,06 e 1,38. Neste mesmo sentido de avaliação as relações variaram de 0,99 a 1,44 para *Nectandra* sp., 0,88 a 1,52 para *Mezilaurus* sp., e de 0,85 a 1,88 para *O. guianensis*.

A análise de resíduos das quatro regressões e os valores dos coeficientes de determinação permite afirmar que o módulo de elasticidade dinâmico determinado através do método acústico de emissão de ondas de tensão é um bom estimador

para o módulo de elasticidade estático. Uma boa correlação entre essas duas variáveis já era esperada, pois os dois módulos foram determinados nas mesmas amostras. Vários pesquisadores, como Waubke (1981), Bucur (1984), Sandoz (1990), Herzig (1992), Koubaa *et al.* (1997), Bartholomeu *et al.* (1998), Goncalves & Bartholomeu (2000), Bartholomeu (2001) e Nogueira & Ballarin (2002, 2003) e Del Menezzi *et al.*, (2010), comprovaram a eficiência dos métodos acústicos na determinação das constantes elásticas da madeira. Assim como Nogueira e Ballarin (2003), no presente trabalho, também foi verificada a sensibilidade do método na avaliação do módulo de elasticidade da madeira.

Prosseguindo com a análise e validação estatística para cada um dos conjuntos de dados, verifica-se que a distribuição dos pontos em torno da linha de ajuste apresenta uniformidade, sugerindo uma distribuição aleatória em torno de zero, indicando que os modelos lineares são satisfatórios no ajuste dos dados. Da mesma forma, a retirada de pontos com resíduo elevado conduziu a resultados semelhantes constatando a normalidade na distribuição de resíduos, e sem a ocorrência de aumento significativo nos valores de R^2 e na estatística F, indicando adequação dos modelos às variáveis estudadas.

Através da análise de regressão dos valores do MOR em função do MOE foi encontrada relação significativa, com R^2 variando de 0,4 a 0,83 ambos para *M. itauba*, para as outras espécies foram encontrados bons coeficientes de ajuste. Este bom relacionamento já era esperado, pois, teoricamente, deve ocorrer uma certa proporcionalidade: à medida que aumenta o valor de MOE, conseqüentemente, haverá aumento do valor do MOR. Porém, observando a dispersão dos dados da espécie *M. itauba*, nota-se certa desproporcionalidade entre os dados do MOE x MOR. Em alguns valores, o MOE foi maior para baixos valores de MOR e, em outros casos, ocorreu um baixo valor de MOE para altos valores de MOR. Essa característica fez com que o modelo ajustado não obtivesse R^2 superior a 0,4.

Stangerlin *et al.* (2010) realizando as mesmas relações ajustou modelos, tanto para o módulo de elasticidade quanto para o módulo de ruptura em função da massa específica aparente, obtendo modelos significativas, no entanto, com coeficientes de determinação baixos, quando comparados aos registrados, normalmente, na literatura (DIAS; LAHR, 2004).

Foram observadas boas correlações entre os valores do MOEd e MOE estático, indicando que os valores do módulo de elasticidade medidos por meio de avaliação não destrutiva são bastante próximos dos valores obtidos nos ensaios destrutivos. Este resultado está em concordância com o obtido por Slootem e Monteiro, (1984), que estudando espécies amazônicas por metodologia não destrutiva de emissão de ondas de tensão, reportam bom relacionamento entre o MOE, obtido destrutivamente e o módulo de elasticidade dinâmico. Tal resultado é um indicativo da aplicabilidade da técnica, destacando a possibilidade de realização de avaliações e classificação de peças de madeira, podendo ser realizada não somente em amostras, mas em toda a linha de produção.

5.5 DUREZA

Entre os vários métodos de avaliação da dureza foi escolhido o método denominado por dureza Janka, definido nas normas ASTM D 143: "Methods of Testing – Small clear specimens of timber" e norma Inglesa B.S. 373: "Methods of testing small clear specimens of timber", por ser um método baseado na penetração de uma esfera de pequeno diâmetro numa face da peça de madeira, o que produz informação útil quanto à potencialidade de utilização das madeiras em pavimentos, ou outras utilizações que sofram fortes cargas concentradas numa reduzida área (ligações mecânicas estruturais, etc.). A dureza é a resistência que a madeira oferece à penetração de outro corpo. Trata-se de uma característica importante em termos de trabalhabilidade; também revela as potencialidades da madeira e pode ser utilizada como ferramenta na caracterização das espécies florestais (COLENCI, 2006).

Na Tabela 34 são apresentados os valores médios obtidos dos testes de dureza paralela (DP) e da dureza normal (DN) às fibras, e com os respectivos coeficientes de variação das espécies *Nectandra cuspidata*, *Mezilaurus itauba* e *Ocotea guianensis*.

TABELA 34 – VALORES MÉDIOS DE DUREZA PARALELA E DUREZA NORMAL ÀS FIBRAS PARA AS TRÊS ESPÉCIES ESTUDADAS E OS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO

Espécies	Variáveis	N	Média (N/mm²)	CV %
<i>Nectandra cuspidata</i>	DP	20	390.48bc	18.74
	DN		420.45c	9.33
<i>Mezilaurus itauba</i>	DP	15	502.81a	11.37
	DN		505.44a	11.88
<i>Ocotea guianensis</i>	DP	12	413.58b	5.87
	DN		467.12b	6.89

Legenda: DP: Dureza Paralela as Fibras, DN: Dureza Normal às Fibras

O teor de umidade dos corpos-de-prova variou de 9 a 13%. Os resultados evidenciam que: os coeficientes de variação (CV) obtidos estão de acordo com Rocco Lahr (1990), que afirma que normalmente são encontrados coeficientes de

variação de até 28% para propriedades de resistência da madeira, e também com a norma NBR 7190:1997: que postula coeficientes de variação de 18% em média para dureza paralela.

Com relação à comparação estatística entre as médias, observou-se diferenciação estatística entre as espécies, tal diferenciação ocorre na mesma proporção verificada nas análises físicas. As espécies apresentam uma tendência uniforme, mostrando que a dureza é diretamente proporcional à massa específica da madeira. O coeficiente de correlação também indicou para esta interação, relações positivas, sendo mais alta entre a densidade básica e a dureza na direção normal (0,78) e mais baixa considerando o ensaio de dureza na direção paralela às fibras (0,73). Os dados comprovam que a dureza da madeira, expressa pela sua capacidade de oferecer maior ou menor resistência à penetração de uma semi-esfera, está estreitamente relacionada com a massa específica. Pode-se observar na figuras 36 esta estreita relação e o aumento da dureza Janka tanto na direção normal quanto na paralela às fibras para com a densidade básica.

Esses resultados apoiam os estudos realizados por Kolmann & Côté Jr (1958) que relataram uma alta correlação entre propriedades mecânicas de resistência, quando observaram em madeiras norte-americanas e europeias que a dureza é diretamente proporcional a massa específica. Estudos realizados por Bessa *et al*, (1990), revelam que diferentes espécies madeireiras da Amazônia apresentam valores semelhantes para a mesma massa específica, no entanto mostram valores diferentes em testes de dureza Janka.

A dureza média das espécies variou de 390,0 a 505,0 kgf/cm², o que de acordo com a classificação proposta pelo Instituto Brasileiro de Recursos Renováveis – IBAMA classifica as espécies como madeira de dureza média, conforme tabela 35. Os valores de dureza obtidos para as espécies indicam relativa trabalhabilidade, e mediana capacidade de suportar cargas pontuais.

TABELA 35 – CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS PROPOSTA PELO IBAMA COM BASE NA DUREZA.

Dureza Janka	kgf/cm²
Baixa	< 364,0
Média	364,0 a 802,0
Alta	> 802,0

Fonte: IBAMA (1997).

Como se pode verificar, apesar de serem todas enquadradas na mesma classe, as espécies apresentam variações internas que permitem especificar mais as estimativas, provendo resultados mais concisos e confiáveis. Nestas condições, buscou-se determinar por meio de análise de regressão, equações para relacionar as variáveis: massa específica básica com a dureza paralela, com a dureza normal às fibras, bem como com relação a velocidade de propagação das ondas. (Figura 36).

Nas equações descritas na tabela 36, para estimativa da dureza tangencial e paralela em função da dureza radial e normal, respectivamente, o coeficiente de determinação obtido é compatível com aquele ao qual se poderia chegar ($R^2 = 0,8$) de acordo com Caixeta *et al.* (2003). Esse autor analisou espécies contidas no intervalo entre 0,602 e 0,817 g/cm³, e avaliaram também, a correlação entre a densidade básica e a dureza normal às fibras. Por outro lado, não é possível comparar os resultados aqui obtidos com a expressão sugerida por Kollmann e Côté Jr (1968), pois as porcentagens de umidade utilizadas pelos autores no estudo mencionado são distintas das adotadas neste trabalho, com base na NBR 7190:1997. Além destas determinações e considerando, ainda, a não equivalência entre as propriedades DN e DP, é possível afirmar que o estabelecimento desta relação têm aplicação prática. Resultados de Pogetto *et al.* (2006) mostram que a relação entre DN e DP é próxima a um, determinados em espécies nativas das famílias Lauraceae e Vochysiaceae, valor bem próximo ao obtido neste trabalho (0,94), demonstrando a coerência dos resultados aqui obtidos.

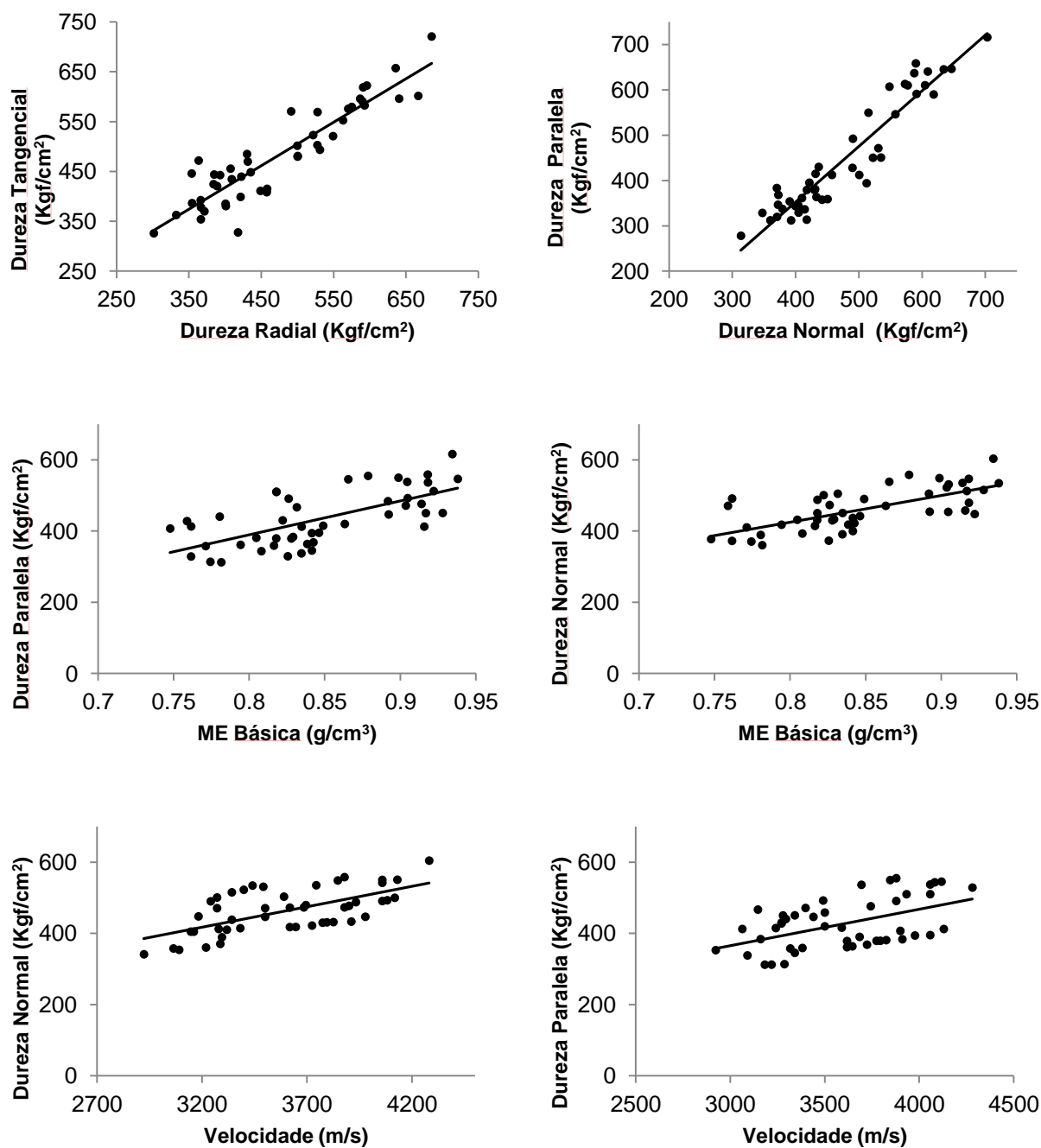


FIGURA 36 – RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DE DUREZA, MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS.

Com relação à dureza Janka na direção paralela e normal às fibras e a massa específica básica, pode-se visualizar também, por meio da linha de tendência, uma relação direta ou aumento proporcional entre as duas variáveis, porém numa menor escala, com coeficiente de correlação de 0,66. A massa específica está ligada principalmente à espessura da parede celular, como há uma maior proporção de parede celular por unidade de distância no sentido

perpendicular (normal) às fibras, a resistência mecânica é maior. Isto se deve ao fato da maioria das células que compõe o lenho estarem no sentido axial. Pesquisas tem demonstrado que quem define esse padrão de tendência é a massa específica de uma forma geral, conforme Kolmann & Côté Jr (1968), há uma relação forte entre esses parâmetros.

TABELA 36 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DA DUREZA.

Equações	R²	F
DT = 9,8367 + 0,9619 * DR	0,8357	235,0513
DP = -138,9064 + 1,2282 * DN	0,8926	383,3986
DP = -373,8690 + 953,8749 * MEB	0,7346	36,3556
DN = -177,0330 + 752,4038 * MEB	0,7803	41,8479
DP = 57,3538 + 0,1026 * V	0,5409	15,5971
DN = 50,7632 + 0,1146 * V	0,5932	30,8109

Legenda: DT: Dureza Tangencial, DR: Dureza Radial, DN: Dureza Normal, DP: Dureza Paralela, V: Velocidade de propagação da Onda, MEB: Massa Específica Básica.

Com relação à estimativa da dureza por metodologia não destrutiva, verifica-se um padrão diferenciado do observado na estimativa da densidade por esta mesma metodologia. Foram encontradas boas estimativas da dureza por meio da técnica de emissão de ondas de tensão, sendo diretamente proporcional a massa específica, é de se esperar que o método também não se preste para estimar a dureza, no entanto são reportados altos coeficientes de determinação para ajuste da dureza normal e paralela, percebe-se claramente a tendência de aumento nos valores de dureza com o aumento da velocidade.

Observa-se para a relação da massa específica básica com a dureza paralela às fibras que o coeficiente de determinação obtido foi de 0,73, porém, para a relação da massa específica com a dureza normal às fibras, o coeficiente obtido foi de 0,78. O ajuste das mesmas variáveis de dureza também resultou em relações mais fortes para dureza normal do que para dureza paralela em função da velocidade de propagação, 0,59 e 0,54 para DN e DP, respectivamente. Os valores de R² para as relações propostas estão compreendidos entre 0,54 e 0,89. Segundo a estatística quanto mais próximo de um, melhores são os ajustes das regressões.

Kollmann e Côté Jr (1968) destacam a relevância de se dispor de meios expeditos e estatisticamente confiáveis para se estimar a dureza da madeira, dada

a sua aplicabilidade prática. Grobério e Rocco Lahr (2002), no estudo de critérios para indicar os usos mais adequados para madeiras tropicais, apontam a importância da dureza como parâmetro indicador do emprego de determinada espécie em pisos, dormentes ferroviários e peças integrantes de veículos de transporte. Xavier e Chahud, (2006), na avaliação do estado de conservação de dezenas de pontes de madeira do Estado de Minas Gerais, concluíram que as menos atingidas por danos decorrentes de intempéries foram aquelas construídas com madeira de massa específica aparente superior a 800 kg/m^3 . Devido à alta variabilidade das propriedades da madeira encontradas mesmo numa mesma peça, frequentemente não são obtidos bons ajustes nestas relações, por isso a NBR 7190/1997 adota um coeficiente de variação de 18% para as resistências a esforços normais e 28% para peças submetidas a esforços tangenciais para fins de cálculos estruturais. Ressalta-se que nas relações aqui apresentadas nos testes de dureza, representam o comportamento de madeiras oriundas de espécies distintas.

5.6 COMPRESSÃO

A realização do ensaio de compressão paralela às fibras ocorreu através da aplicação de carga em seção transversal até a ruptura. Os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 5,0 x 5,0 x 20,0 (cm). A carga foi aplicada continuamente, a uma velocidade de 0,6 mm/min. Realizados os ensaios, foram obtidos os valores de resistência à compressão paralela às fibras apresentados na Tabela 37.

TABELA 37 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA OS VALORES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA PARA TODAS AS ESPÉCIES

Espécies	Variáveis	N	Média (N/mm²)	CV %
<i>Nectandra cuspidata</i>	MOR	18	405,09b	18,47
	MOE		12.773,54a	31,59
<i>Mezilaurus itauba</i>	MOR	13	451,88ab	10,93
	MOE		12,201,49b	24,86
<i>Ocotea guianensis</i>	MOR	12	513,19a	17,01
	MOE		12.893,09a	22,25

Legenda: MOE: Módulo de Elasticidade no teste Destrutivo, MOR: Módulo de Ruptura

A madeira, normalmente apresenta valores de compressão paralela elevados, sobretudo considerando a baixa massa específica deste material comparativamente a outros materiais estruturais, como por exemplo, o ferro, o tijolo e a pedra, consistindo este fato numa enorme vantagem da madeira em aplicações estruturais. Conforme tabela 37, *O. guianensis* e *N. cuspidata* diferiram estatisticamente quanto ao MOR, mas não quanto ao MOE, já para *M. itauba* foi observado um valor intermediário as outras duas espécies com relação ao MOR, e diferente estatisticamente com relação ao MOE.

Analisando a coerência dos resultados foram encontradas algumas inconsistências com relação à massa específica. Baseado nesta propriedade era esperado que a espécie a apresentar maior resistência na compressão paralela fosse *M. itauba*, pois conforme é amplamente difundido e aceito na literatura, a resistência neste tipo de esforço é fortemente correlacionada com a massa específica. Inúmeros trabalhos reportam grande relacionamento entre estas

propriedades, no entanto, apesar da massa específica ser uma propriedade muito apropriada na definição da resistência na compressão, não é a única a influenciar o resultado obtido nas avaliações.

A figura 37 mostra graficamente o relacionamento das propriedades MOR e MOE na compressão paralela, em função da massa específica básica. São apresentadas linhas de tendência onde é possível verificar novamente a influência positiva da massa específica sobre as propriedades de compressão, conforme relatado por Kollmann e Côté Jr (1968). Em decorrência da análise de regressão entre massa específica básica e compressão obteve-se as equações lineares que são apresentadas na tabela 38, com os respectivos coeficientes de determinação. O MOR em ensaio de compressão paralela foi ajustado com coeficiente de determinação (R^2) de 0,75 em função da massa específica básica, já o MOE apresentou coeficiente de determinação de 0,61. As relações entre MOR e MOE a partir do ensaio de compressão com a massa específica aparente mostram correlações positivas e significativas, 0,79 considerando as três espécies juntas e 0,6, 0,87 e 0,8 para *N. cuspidata*, *M. itauba* e *O. guianensis*, respectivamente. Os resultados encontrados se assemelham aos encontrados em outros trabalhos para esta espécie (LPF, 1989).

Os esforços na compressão paralela têm grande correlação com a maior parte das propriedades. As correlações foram estabelecidas entre a massa específica básica, velocidade de propagação das ondas e com as durezas paralela e normal às fibras. Na correlação do MOR com a massa específica básica o coeficiente é de 0,86, na correlação do MOR com a velocidade de propagação das ondas o coeficiente é de 0,72, esses valores estão em conformidade com o encontrado por De Paula *et al.* (1986) que estudando espécies amazônicas encontraram coeficientes variando de 0,6 à 0,9. No relacionamento entre MOE e massa específica o coeficiente de correlação é de 0,82, a correlação de MOE com velocidade de propagação das ondas é de 0,73. A boa correlação das propriedades de MOE e MOR com a velocidade de propagação, propiciou obter bons ajustes das equações lineares e estimativas seguras destas propriedades. Nascimento (1993), também ajustou modelos lineares simples, para madeiras amazônicas com valores do R^2 , entre massa específica básica e as propriedades mecânicas de MOR e MOE, variando de 0,58 a 0,77.

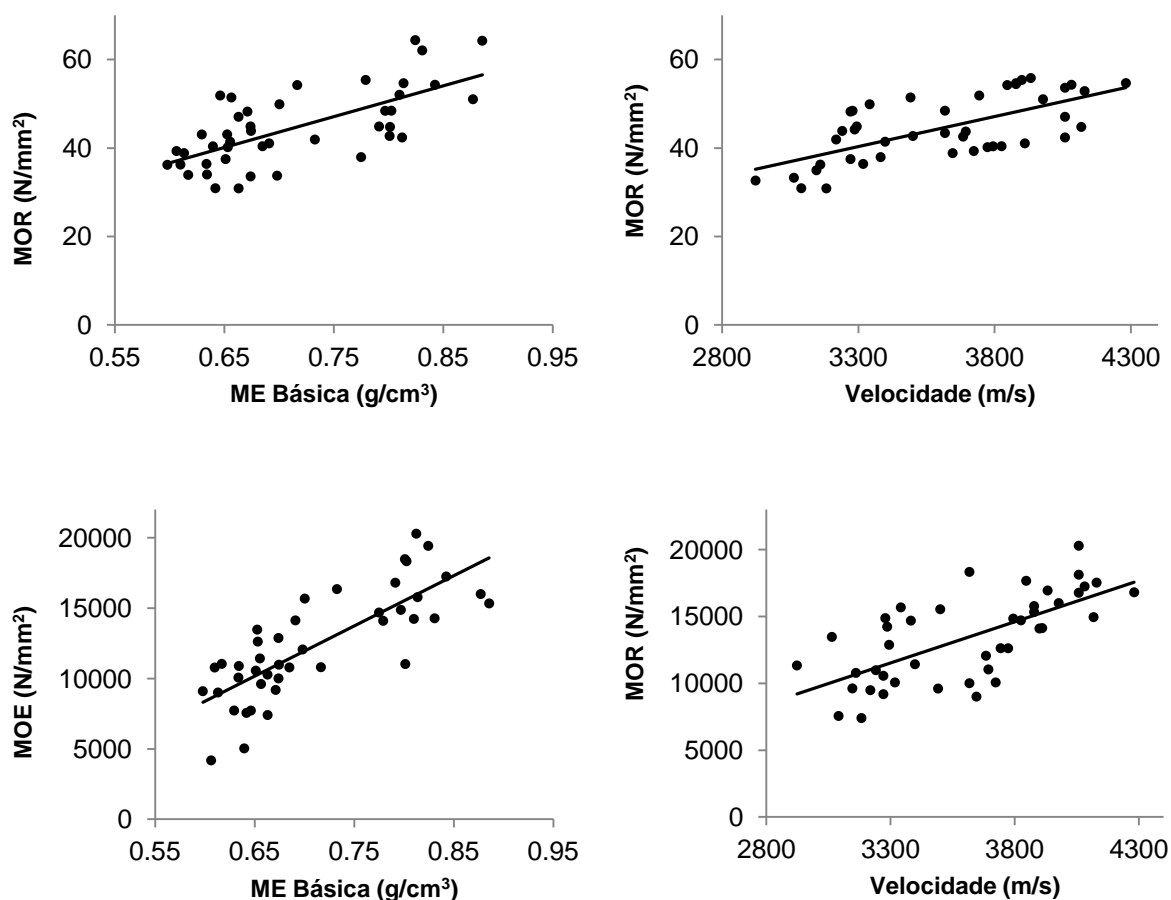


FIGURA 37 – RELAÇÃO DO MOE E MOR NA COMPRESSÃO PARALELA COM A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS

TABELA 38 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS E DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.

Equações	R ²	F
MOR = -51,48732+ 708,92871* MEB	0,7708	35,4757
MOR = -47,42568+ 0,13892* V	0,6298	32,6555
MOE = -13273041691+ 36364502474* MEB	0,7516	67,1370
MOE = -8967216911+ 62,76445* V	0,6450	34,6808

Legenda: MOR: Módulo de Ruptura, MOE: Módulo de Elasticidade, MOEd: Módulo de Elasticidade Dinâmico, MEB: Massa Específica Básica, V: Velocidade de Propagação da Onda.

Dinwoodie (1981) estudou as deformações internas que ocorrem na madeira quando submetidas à esforços de compressão. Segundo este autor as deformações na compressão assumem a forma de dobras diminutas na estrutura microfibrilar da madeira conduzindo eventualmente, a flambagem lateral das paredes das células. Quando as tensões e deformações aumentam, as dobras se tornam proeminentes e aumentam numericamente na ruptura.

A ruptura em compressão é um processo lento em que ocorrem mudanças estruturais progressivas na madeira. Segundo Dinwoodie (1981) embora mudanças estruturais já se manifestem a tensões baixas como 25% da tensão de ruptura, as mudanças mais marcantes são verificadas em tensões acima de 60% da força. Este valor foi de 57% nos estudos realizados por Pereira *et al.* (1976), para a determinação da resistência a compressão paralela as fibras.

Pesquisas nacionais e internacionais demonstram a viabilidade das metodologias não destrutivas com uso de técnicas acústicas, para realização de avaliação por meio de correlações entre os módulos de elasticidade obtidos em ensaios destrutivos (compressão paralela às fibras e flexão estática) e em ensaios dinâmicos (stress wave). Os resultados apresentam correlações significativas, com coeficientes de determinação (R^2) entre 0,57 e 0,89 (BARADIT *et al.*, 1998; BARTHOLOMEU, 2001; HALABE *et al.*, 1996; MACHADO, 2000; MCDONALD *et al.*, 1990; NOGUEIRA, 2003; OLIVEIRA, 2001; ROMERO, 1996; ROSS & PELLERIN, 1991, 1994; ROSS *et al.*, 2000).

A figura 38 apresenta a relação entre a resistência na compressão paralela e as durezas normal e paralela às fibras. A norma da ABNT – NBR 7190/97, Métodos de ensaio para determinação das propriedades das madeiras para projetos de estrutura, descreve estas relações como importantes não devendo ser ignoradas quando da escolha de madeiras, uma vez que alguns locais da estrutura como encaixes, as peças podem estar sobre estes dois tipos de esforços. Geralmente espécies que apresentam elevados valores de dureza também apresentam alto valor de resistência à compressão, no entanto a segurança requerida em um projeto estrutural torna necessária a verificação destas relações para cada tipo de madeira a ser utilizada, informação esta, que nem sempre está disponível, sendo este um ponto negativo no uso de madeiras para fim estrutural.

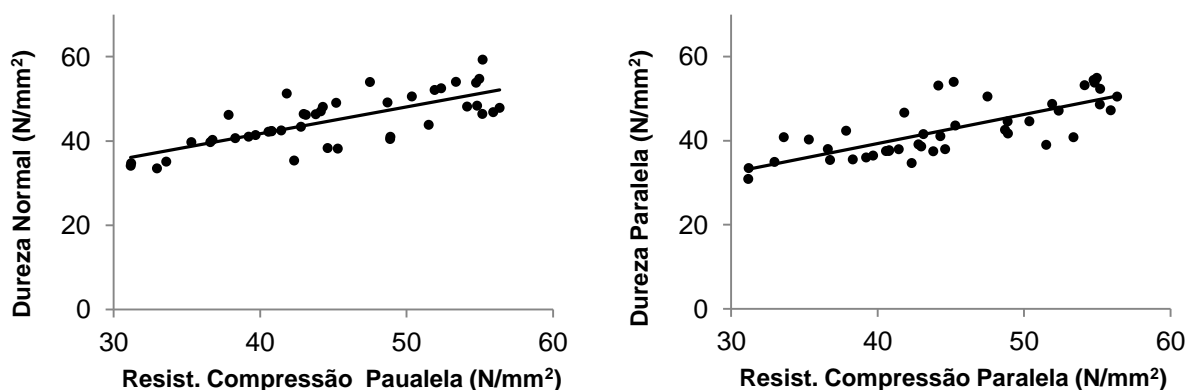


FIGURA 38 – RELAÇÃO ENTRE MOR NA DUREZA NORMAL E PARALELA COM O MOR NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA

TABELA 39 – MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR PARA A ESTIMATIVA DO MOR NA DUREZA NORMAL E PARALELA EM FUNÇÃO DO MOR NA COMPRESSÃO PARALELA PARA TODAS AS ESPÉCIES.

Equações	R ²	F
DN = 164,693069+ 0,644034* RCP	0,7541	53,1965
DP = 1118,184303+ 0,690529* RCP	0,7668	55,9635

Legenda: DN: Dureza Normal, DP: Dureza Paralela, RCP: Resistência na Compressão Paralela.

A tabela 39 apresenta os modelos lineares resultantes do relacionamento das propriedades de dureza normal e paralela e o esforço na compressão paralela. No presente estudo foi encontrado 0,75 para o ajuste da dureza normal e 0,76 para ajuste da dureza paralela em função da resistência na compressão paralela. O valor próximo para avaliação nas duas direções deve-se as espécies apresentarem valores muito próximos de dureza paralela e normal conforme tabela 34.

Recentemente, Colenci (2002), trabalhando com madeiras das famílias Lauraceae, Vochysiaceae e com a espécie *Eucalyptus. citriodora*, estudou a correlação entre a dureza e a resistência à compressão paralela às fibras da madeira. Do estudo, obteve relações com coeficientes de determinação de 0,80 e 0,82.

5.7 CLASSIFICAÇÃO

A variabilidade observada nas propriedades mecânicas pode ser associada com grande probabilidade à dois principais fatores de origem: o primeiro se deve à massa específica e sua forte relação com a resistência mecânica, havendo grande variação nessa característica de crescimento intra e interespecificamente. O segundo corresponde ao efeito que os defeitos da madeira provocam na resistência mecânica. A classificação da madeira não tem por objetivo separar as peças de melhor qualidade e desprezar as de qualidade inferior, mas conhecer as propriedades mecânicas de cada peça, possibilitando o uso seguro de toda a capacidade de resistência do material. Dessa forma, em uso estrutural, por exemplo, pode-se projetar estruturas mais baratas em termos monetários, e econômicas no uso do material, com a mesma confiabilidade dos outros materiais.

Atualmente existem diversas técnicas de avaliação não destrutiva aplicáveis à classificação da madeira. Entre elas, citam-se a: classificação visual, o ultra-som, o raio X, ondas de tensão, vibração transversal e o MSR (*Machine Stress Rated*), este último um dos métodos mais utilizados que constitui a base de funcionamento das máquinas de classificação de madeira (MSR – *Machine Stress Rating*), e o do ensaio de flexão dinâmica, no qual as peças de madeira atravessam a máquina, que monitora sua rigidez (CASTELO, 2007). No presente trabalho a técnica utilizada é baseada na aplicação de ondas de tensão, a classificação foi feita com base na velocidade de propagação das ondas e a metodologia de estratificação das classes foi análise de agrupamentos. Foi utilizado o procedimento cluster, e os resultados são reportados graficamente por meio de dendrogramas.

A figura 39 apresenta o diagrama geral com a distribuição das espécies do estudo fornecido na análise multivariada. Em razão da grande quantidade de amostras utilizadas na análise, na escala mostrada a visualização fica prejudicada, por esse motivo são apresentadas figuras adaptadas dos dendrogramas obtidos nas análises. O mesmo procedimento foi adotado para reportar os grupos formados nas análises para cada espécie.

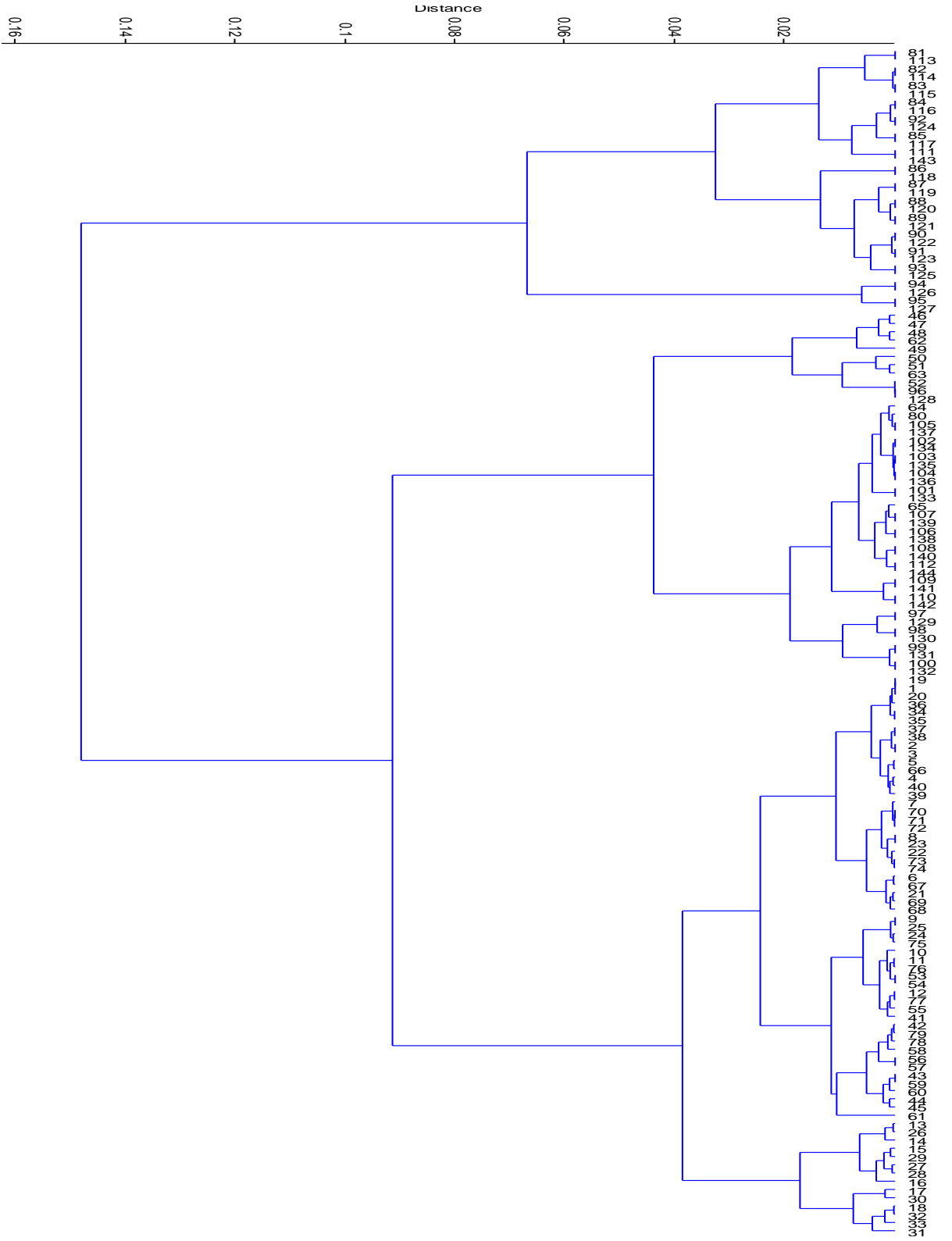


FIGURA -39 – DENDROGRAMA OBRIDO NA ANÁLISE COM BASE NA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.

A vantagem na realização da estratificação por meio deste tipo de análise, além da fácil visualização e interpretação dos resultados está na metodologia de validação dos grupos que é feita por meio da relação entre duas matrizes, de distância e de dissimilaridade. Os grupos finais são formados por meio de coeficientes de correlação. Esse coeficiente de correlação é denominado coeficiente de correlação cofenética e possibilita avaliar o desempenho da análise de agrupamento em função da classificação obtida, ou seja, se os grupos indicados para representar classes de resistência podem ser considerados uma boa representação dos dados originais. As operações necessárias para a obtenção desse coeficiente são as mesmas utilizadas na determinação do coeficiente de correlação de *Pearson*, em regressão linear. Neste tipo de análise de agrupamento, autores como Bussab, *et al.* (1990), sugerem que um valor deste coeficiente próximo à 0,8 pode ser considerado um bom ajuste.

Inicialmente a análise foi feita com base na massa específica básica. No eixo horizontal do dendrograma estão discriminadas as séries ou grupos formados pelas junções das séries. A escala no eixo x indica os níveis de dissimilaridade, sendo que as linhas verticais partindo dos grupos possuem altura correspondente ao nível no qual os objetos são considerados semelhantes. No eixo y foi plotado a variação da massa específica básica. A inspeção visual do dendrograma contendo as várias ramificações com a posição de cada uma das amostras do estudo fornecido na análise possibilitou separar as amostras em três grupos distintos, esse resultado já era esperado pois nesta análise foram incluídos os dados das três espécies.

Realizada a análise de agrupamento com base na massa específica básica foi feita uma conferência entre as amostras alocadas em cada grupo, e a correspondência entre os valores obtidos nos respectivos testes, para cada espécie. Os resultados indicam que as amostras foram alocadas de acordo com a espécie, ou seja, conforme se observa na figura 40, no grupo indicado como contendo indivíduos da espécie *M. itauba* a maioria dos indivíduos alocados são desta espécie e assim para os outros dois grupos. A correspondência encontrada na análise foi de 85% para amostras da espécie *M. itauba*, 82% para *O. guianensis*, e 79% para espécie *N. cuspidata*. O menor percentual verificado para *N. cuspidata* é atribuído ao maior número de amostras realizado para esta espécie, com conseqüente maior variabilidade presente.

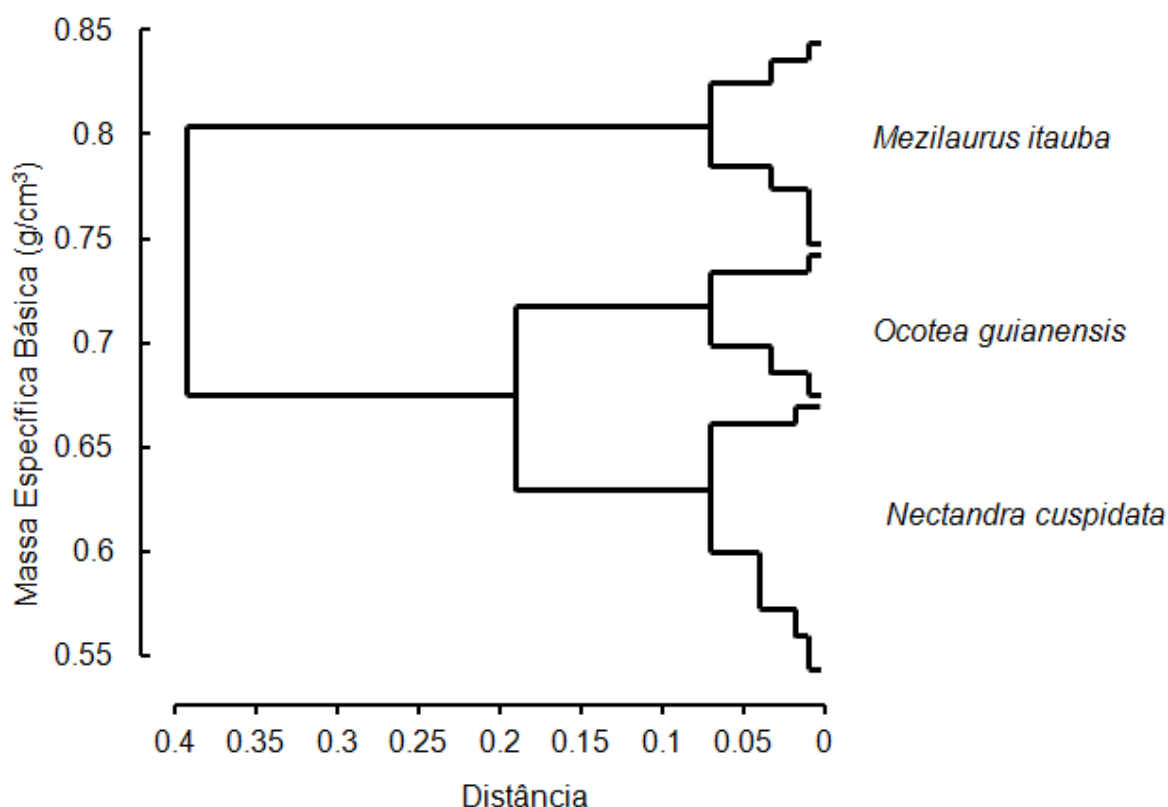


FIGURA 40 - DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

A mesma análise foi realizada com base na velocidade de propagação das ondas, com posterior conferência entre as amostras alocadas em cada grupo, e a correspondência entre os valores das velocidades obtidas no teste com o aparelho *Stress Wave Timer*, para cada espécie. Os resultados são semelhantes aos obtidos na análise com baseada na massa específica, as amostras foram alocadas de acordo com a espécie. A correspondência encontrada na análise foi de 81% para amostras da espécie *M. itauba*, 76% para *O. guianensis*, e 71% para espécie *N. cuspidata*. Da mesma foram que na análise com base na massa específica básica, o menor percentual verificado para *N. cuspidata* é atribuído ao maior numero de amostras realizado para esta espécie, com conseqüente maior variabilidade presente. Os coeficientes de correlação cofenética obtidos foram de 0,95 no grupamento com base na massa específica básica e de 0,81 no grupamento estabelecido com base na velocidade de propagação.

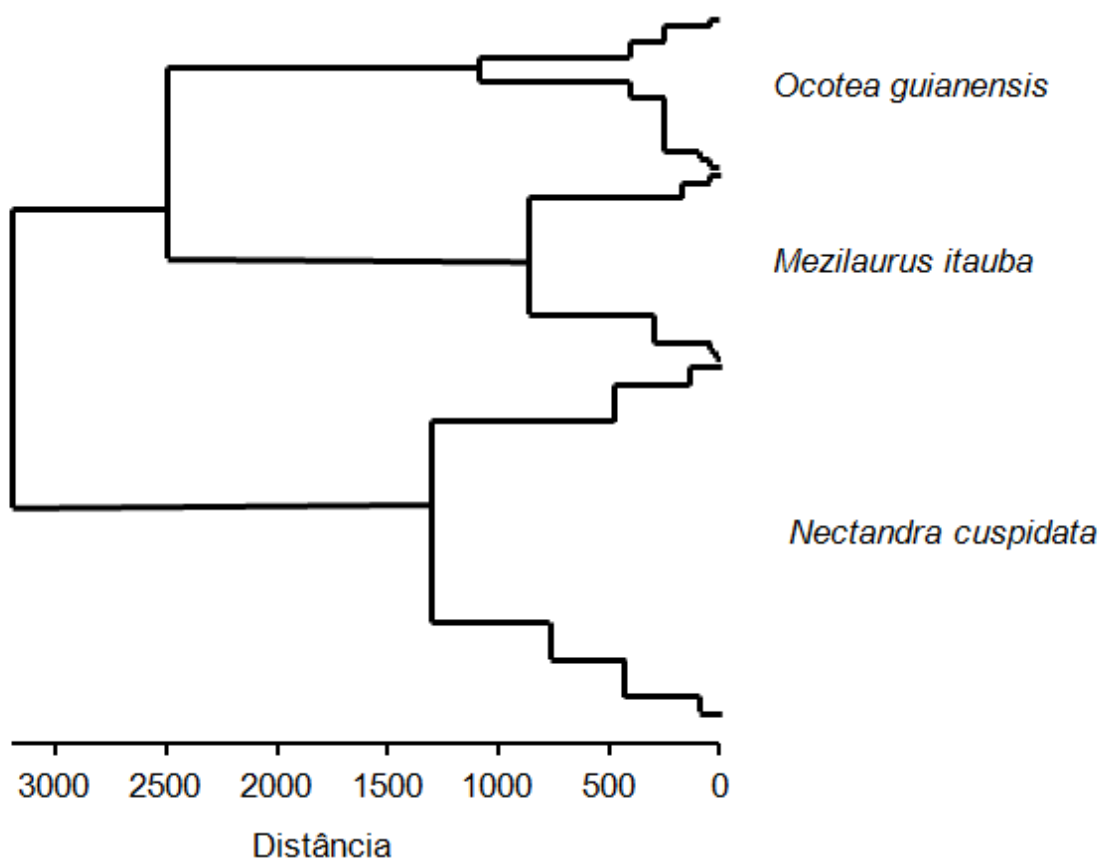


FIGURA 41 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

Neste tipo de análise também é possível considerar mais de uma variável, o que garante maior confiabilidade na classificação obtida. Para a classificação das espécies foi realizada a análise de grupamento com base nos valores de MOR e MOE obtidos nos testes destrutivos. Uma vez que as relações lineares já foram ajustadas, tem-se a real dimensão do quão estreito são as relações entre estas variáveis e as velocidades de propagação das ondas. Assim por meio deste procedimento foram estabelecidas as classes com base na velocidade de propagação. As figuras e tabelas a seguir apresentam o relacionamento destas propriedades com MOE e MOR, obtidos nos testes de flexão estática, para cada espécie, teste de dureza paralela e normal as fibras, neste caso analisado para as três espécies conjuntamente, e para resistência na compressão paralela.

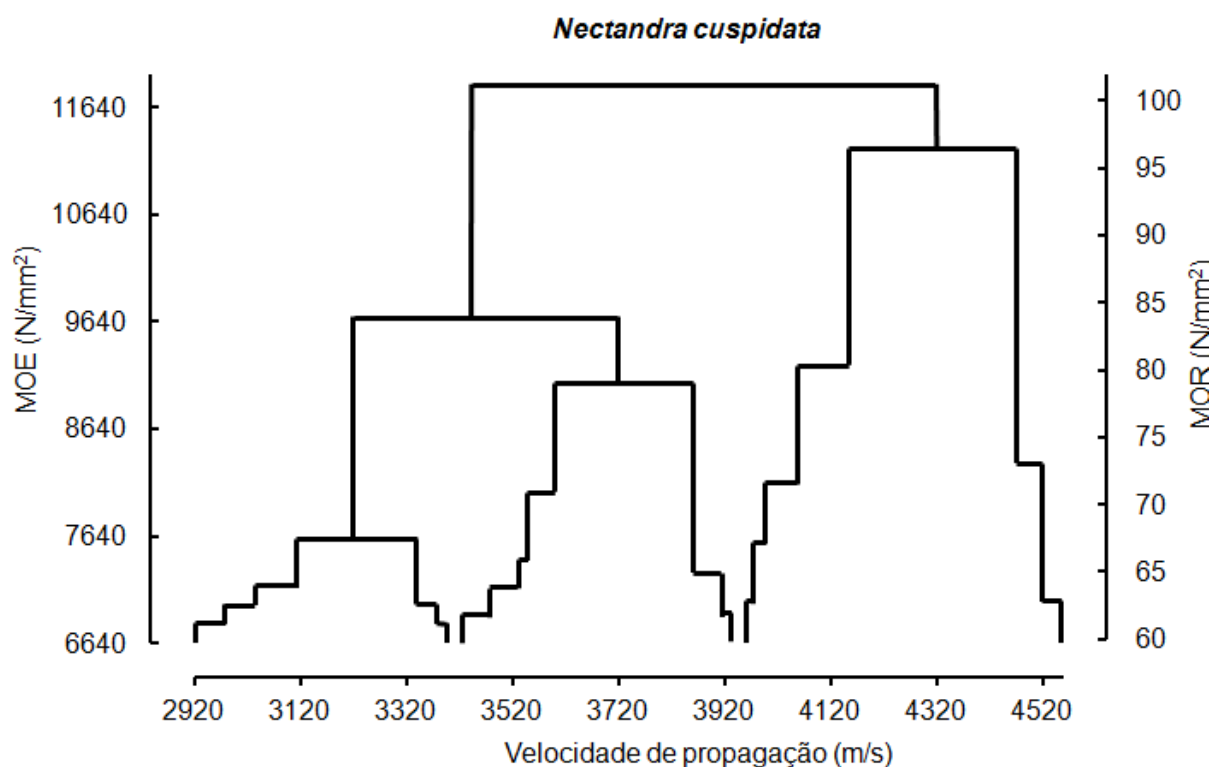


FIGURA 42 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES *Nectandra cuspidata*

TABELA 40 - CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES *Nectandra cuspidata*

CLASSES	VELOCIDADES (m/s)	MOE N/mm ²	MOR N/mm ²
I	4.320	11.140,0	97,0
II	3.720	9.140,0	80,0
III	3.220	7.640,0	67,5

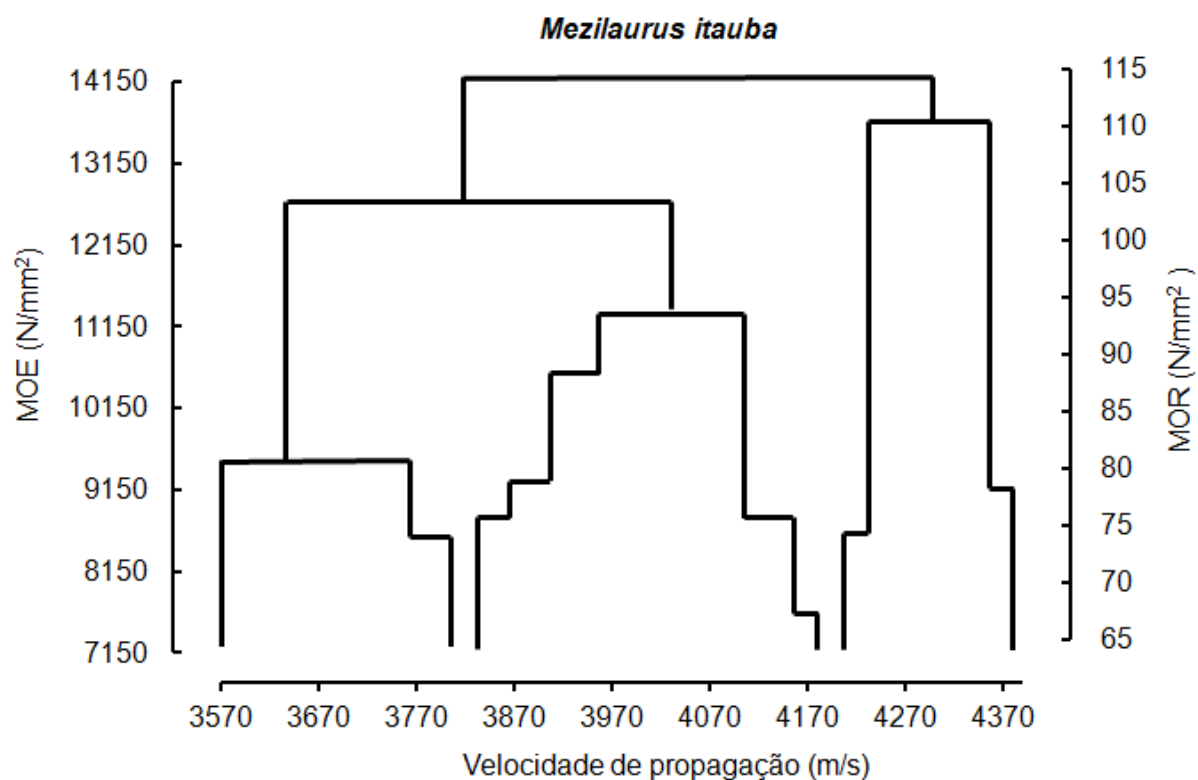


FIGURA 43 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES *Mezilaurus itauba*

TABELA 41 - CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES *Mezilaurus itauba*

CLASSES	VELOCIDADES (m/s)	MOE N/mm ²	MOR N/mm ²
I	4.300	13.650	110,0
II	4.030	11.200	93,0
III	3.600	9.400	81,0

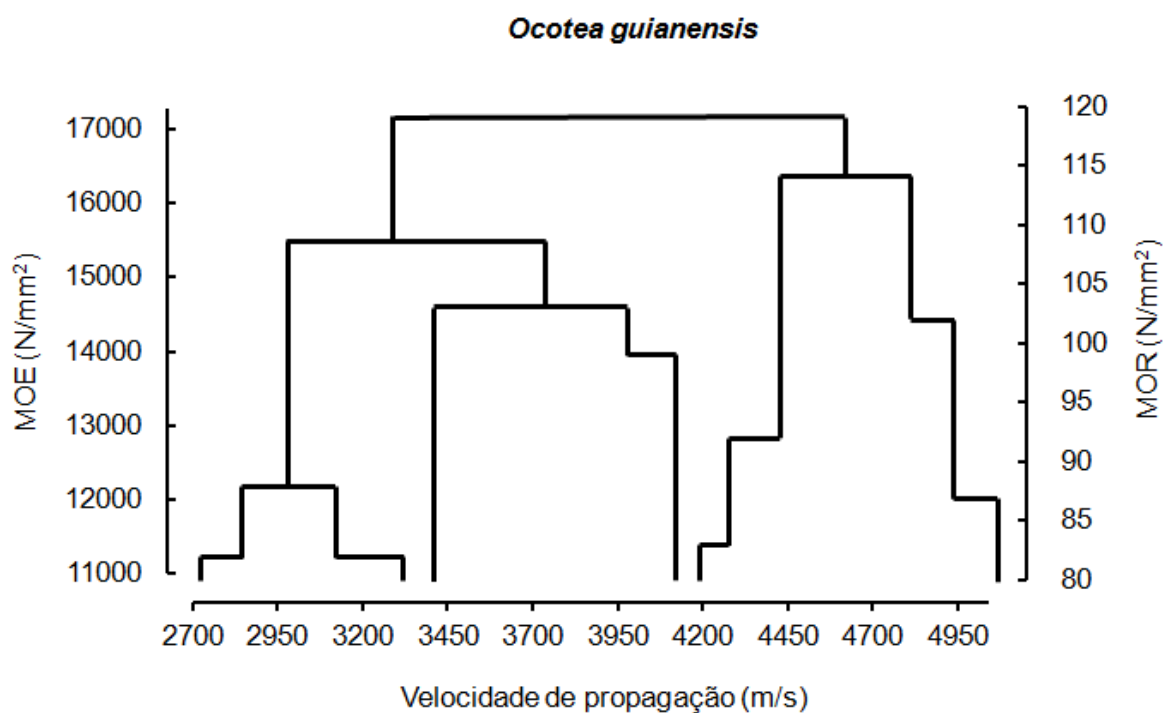


FIGURA 44 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES *Ocotea guianensis*

TABELA 42 - CLASSIFICAÇÃO COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO PARA ESPÉCIES *Ocotea guianensis*

CLASSES	VELOCIDADES (m/s)	MOE N/mm²	MOR N/mm²
I	4.650	16.500,0	114,0
II	3.710	14.700,0	103,0
III	2.960	12.500,0	87,0

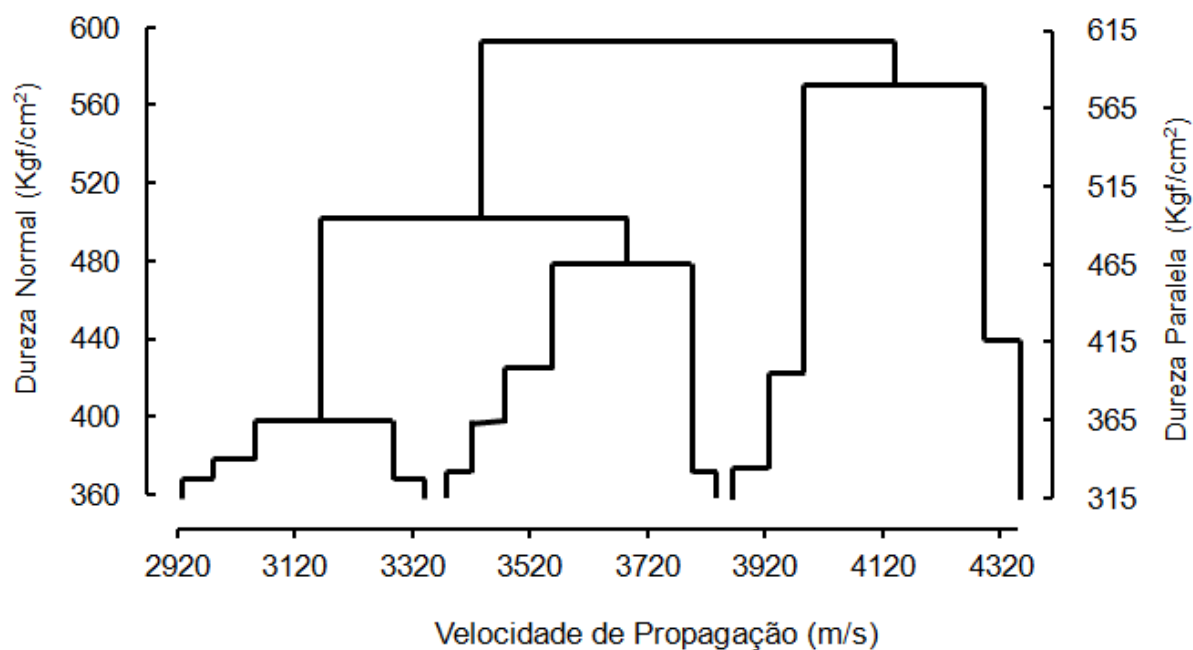


FIGURA 45 – DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DA DUREZA NORMAL E PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

TABELA 43 – CLASSIFICAÇÃO DA DUREZA NORMAL E PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

CLASSES	VELOCIDADES (m/s)	DUREZA NORMAL Kgf/cm ²	DUREZA PARALELA Kgf/cm ²
I	4.150	570	585
II	3.700	480	465
III	3.140	400	365

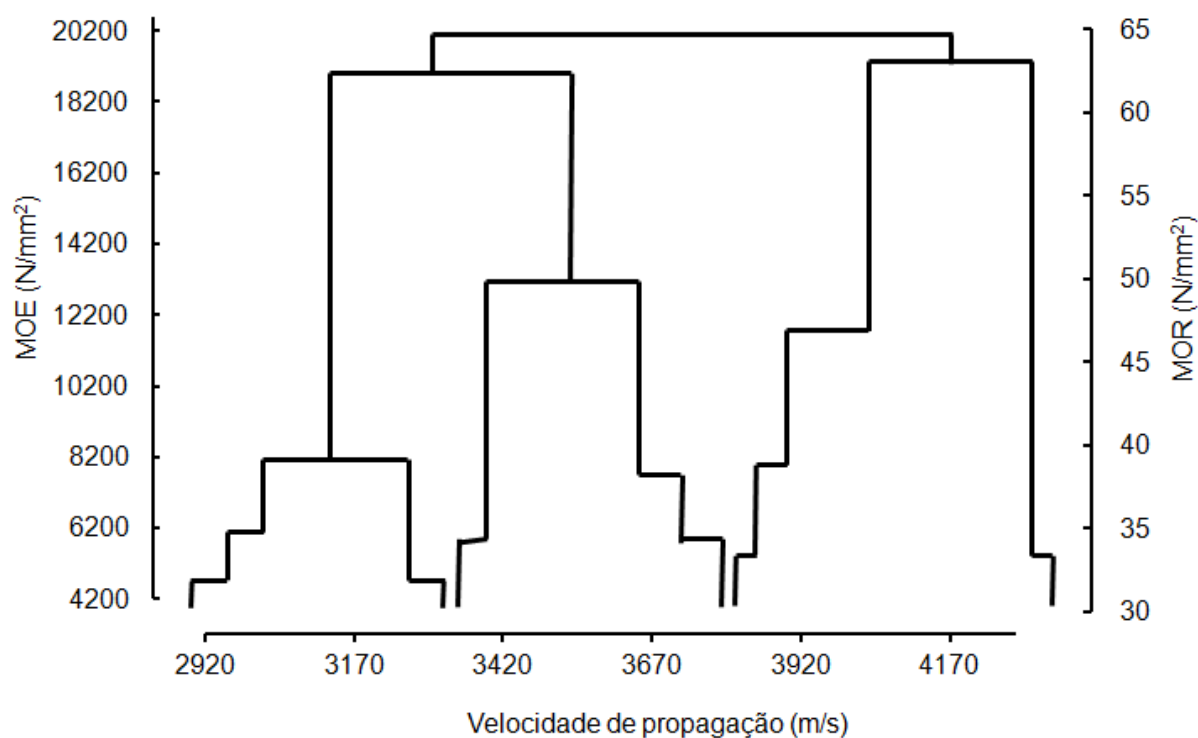


FIGURA 46 - DENDROGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

TABELA 44 - CLASSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO PARALELA COM BASE NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS DE TENSÃO

CLASSES	VELOCIDADES (m/s)	MOE N/mm ²	MOR N/mm ²
I	4.170	19.000,0	62,0
II	3.540	13.000,0	50,0
III	3.150	8.000,0	38,0

Alguns autores relatam que a classificação assim como a avaliação de espécies individualmente pode ser dificultada pelo fato de existir pouca previsibilidade nos modelos. Essa característica realmente pode ser um complicador, uma vez na classificação, modelos de referência devem ser reportados e caso estes não apresentem boas estatísticas de ajuste, as classificações podem apresentar inconsistências. No entanto, tal classificação só seria possível depois de avaliar um expressivo número de amostras procedentes de diversas árvores e sítios, o que por si só traria para o método a variabilidade necessária para que os modelos de ajuste apresentem boa previsibilidade.

No presente estudo, no entanto, como o intuito não é reportar valores de referência e sim verificar a capacidade de avaliação do método de avaliação não destrutiva com uso de ondas de tensão, a classificação apresentada, prova que tal estratificação em valores de resistência com base na velocidade de propagação das ondas é possível. De fato a proximidade nos valores das classes pode torná-las pouco práticas, entretanto o ideal é que a classificação seja realizada por espécie, pois desta forma todas as propriedades tecnológicas da espécie em questão serão disponibilizadas, algo bem diferente do que temos hoje, especialmente para as espécies amazônicas.

Um dos maiores empecilhos no uso da madeira para fins estruturais está na ausência de valores de referência sobre a resistência. A análise e correlação dos resultados dos ensaios destrutivos com os ensaios não destrutivos, permite a estimativa das propriedades físicas e mecânicas bem como a determinação de classes, essa classificação pode ser realizada em qualquer fase do processo industrial, desde a tora até a madeira serrada, pois conforme resultados da avaliação não destrutiva, os dados seguiram a mesma tendência das avaliações feitas nas toras e nas pranchas, ou seja, nas toras e pranchas onde a leitura apresentou valores altos para a velocidade de propagação das ondas, resultaram em corpos-de-prova com elevados valores de velocidade de propagação. Tal resultado possibilita a realização da avaliação ainda na tora, no entanto isto não garante a qualidade do produto final, pois muitos são os processos envolvidos no caminho de transformação da tora. No entanto, alguns trabalhos têm demonstrado que a seleção preliminar de tábuas para a fabricação de vigas estruturais resulta em produtos finais com qualidade superior.

Conforme relatado por vários autores entre estes Puehringer (2002), a utilização de ensaios não destrutivos apresenta diversas vantagens, sobretudo a facilidade e rapidez de execução dos ensaios. Os resultados obtidos com o aparelho *Stress Wave Timer*, quando correlacionados com as propriedades físicas e mecânicas da madeira, apresentam boas correlações, o que permite a utilização dos valores das leituras para estimar as demais propriedades com relativa segurança.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Na conclusão desta pesquisa é apresentada uma síntese daquilo que foi mais significativo no estudo realizado, procurando argumentar em torno dos objetivos e hipótese propostos, e algumas considerações acerca das contribuições do presente trabalho no âmbito do setor produtivo e da ciência florestal.

6.1 CONCLUSÕES

As relações entre as diferentes variáveis avaliadas indicam que o método de avaliação baseado na propagação de ondas de tensão pode ser empregado na avaliação resíduos florestais ainda em tora, possibilitando a seleção de material com as características e requisitos desejados de acordo com o uso que se pretenda. Esta seleção antecipada não garante, mas cria condições para que sejam obtidos produtos finais com maior qualidade e valor agregado.

O uso de modelos matemáticos baseados na velocidade de propagação das ondas de tensão permite estimar as propriedades físico-mecânicas com precisão, rapidez e facilidade. Isto permite uma rápida tomada de decisão, sendo esta suportada por informação barata e confiável.

A avaliação da qualidade e classificação da madeira de resíduos florestais em faixas de qualidade, com base na velocidade de propagação das ondas de tensão mostra-se altamente viável e eficaz, uma vez que foram verificadas fortes correlações entre as variáveis físico-mecânicas e a velocidade de propagação das ondas. Esse resultado contribui para um aumento significativo no conhecimento das propriedades físico-mecânicas da madeira.

6.2 CONSIDERAÇÕES

As contribuições desta pesquisa podem ser descritas em dois âmbitos sendo estes, o setor produtivo e a ciência florestal.

No âmbito do setor produtivo, a maior contribuição desta pesquisa é a validação de uma metodologia barata e efetiva na avaliação da qualidade da madeira tanto física como tecnologicamente. Agregar valor à madeira incorre em grandes investimentos, pois se faz necessário agregar processos à ela, o incremento do valor de mercado por meio de informação tecnológica obtida por metodologia não destrutiva tem um custo marginal reduzido e uma elevada receita marginal, desta forma, por meio desta tecnologia inovadora pode-se tornar a madeira um material de maior valor econômico, provendo condições e estímulos para o melhor aproveitamento desta matéria-prima.

Estes métodos, além de passíveis de realização em múltiplas ocasiões, são de rápida execução, tem baixo custo nas análises, e podem ser aplicados em árvores em pé, árvores caídas, em partes do tronco, em resíduos florestais e também no produto final. Além disso, o equipamento é simples e portátil, facilitando avaliações em campo, no pátio e em depósitos. Os custos com o equipamento são somente de aquisição, já que a manutenção é inexistente, esse custo reduzido viabiliza a aquisição por pequenas indústrias.

A simplicidade e baixo custo da metodologia a coloca em vantagem em relação às metodologias destrutivas, pois a implementação no processo industrial é rápida e barata, com retorno imediato. A falta de informações tecnológicas confiáveis é uma das principais limitações para a comercialização da madeira para fins estruturais. A comercialização de madeira em classes de qualidade, além de promover a valorização do recurso, supre essa demanda do mercado, uma vez que as informações tecnológicas serão fornecidas por meio da avaliação das próprias peças ou do lote que está sendo comercializado, e não mais valores médios, que frequentemente apresentam diferenças de mais de 50%, em relação às reais características do material em questão.

No âmbito da ciência florestal, há um grande projeto denominado Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Madeiras da Amazônia, do qual a presente pesquisa faz parte, que busca suprir algumas demandas em relação à pesquisa sobre essências florestais amazônicas e tem como objetivos principais a redução

do desperdício de madeira, e consolidação do manejo florestal. Dentre as metas e atividades deste projeto estão:

- Agrupar espécies madeireiras de acordo com as suas características e propriedades tecnológicas para uso final;
- Qualificar os resíduos da indústria madeireira para fabricação de produtos alternativos a base de madeira;
- Conseguir madeiras de alta qualidade e valor agregado aplicando técnicas inovadoras com a realização de ensaios acústicos;

Nesse sentido, os resultados apresentados na presente pesquisa atendem em parte aos objetivos propostos pelo INCT – Madeiras da Amazônia, mais do que isso, este trabalho é concluído quando as discussões acerca do futuro da floresta amazônica estão acaloradas e as atenções estão voltadas para esta região, com inúmeros questionamentos sobre a sustentabilidade dos sistemas de uso aplicados, e com a sociedade de modo geral, ávida por respostas sobre o uso sustentável dos recursos. Sem a pretensão de afirmar que as lacunas em termos de estudos tecnológicos sobre essências madeireiras foram supridas, mas com a consciência do importante passo dado, a efetivação do presente trabalho é uma resposta concreta aos que buscam respostas sobre o que a pesquisa vem fazendo acerca do uso e valorização dos recursos florestais da região amazônica.

6.3 PERSPECTIVAS FUTURAS

Adequar e desenvolver a metodologia para atender a demanda do mercado industrial nos diversos setores que utilizam a madeira tendo em vista que a técnica se mostrou altamente viável para permitir um salto tecnológico importante na avaliação da qualidade da madeira.

Desenvolver metodologia para aplicação da técnica em árvores e em toras, visando facilitar a seleção de material ainda na floresta, evitando por exemplo, a derrubada de árvores ocas, e no pátio industrial, visando a seleção de material adequado de acordo com o uso que se pretende.

Estudar as relações entre as variáveis da técnica (tempo e/ou velocidade de propagação e outras variáveis não abordadas no presente trabalho, como disposição da grã e ângulo fibrilar, entre outras propriedades.

Realização de estudos visando estimar a massa específica por meio de metodologia não destrutiva, uma vez que está é uma das propriedades de maior interesse nos processos industriais;

Considerando a rapidez e facilidade de utilização desta técnica, o desenvolvimento de outras pesquisas poderá estabelecer os parâmetros relacionados à avaliação não destrutiva. Estudar influências como limite entre cerne e alburno, teor de umidade e estado de degradação, podem viabilizar melhorias nos resultados obtidos.

Ampliar os estudos para outras espécies fornecendo subsídios para torná-las comerciais e aumentar seu valor de mercado e assim impulsionar uma mudança de mentalidade na indústria madeireira amazônica, pois esta passaria a enxergar a floresta como um todo, passível de exploração lucrativa, e não apenas algumas espécies como ocorre até hoje, viabilizando e tornando reais os conceitos de sustentabilidade implícitos nos planos de manejo florestal.

7 REFERÊNCIAS

AAKER, D. A.; KUMAR, V.; DAY, G. S. **Pesquisa de marketing**, São Paulo: Atlas, 2001. 745p.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. **Processo de Produção de Chapas de Fibras**, Doutorado em Concentração de Tecnologias e Utilização de Produtos Florestais. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná 1999.

ARAUJO, H.J.B.. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. Piracicaba, 168p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9192/95 – Paletes de Madeira – Materiais. Rio de Janeiro, 1997. 06p.

ASTM D-245-81. Standard Methods for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visual Graded Lumber. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

BARADIT, E.; ROZAS, C.; VARGAS, G. Aplicación de ultrasonido en la evaluación de madera de pinus radiata. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, [S.l.], v. 1, p. 27-33, 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.

BARTHOLOMEU, A.; GOLÇALVES, R.; HERNÁNDEZ, R. E. Montagem de equipamento para ensaios não-destrutivos em madeira utilizando ultra-son. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis, SC, **Anais.**; Florianópolis: IBRAMEN, 1998. v. 4, p. 345-354.

BARRICHELO, L.E.G. & FOELKEL, C.E.B. Estudos para produção de celulose sulfato de seis espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, (12):77-95, jun. 1976.

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

BESSA, M. T. F.; NASCIMENTO, C. C. & SILVA, A. C. Estrutura da madeira e sua correlação com propriedades mecânicas. **Acta Amazônia**. 1990.

BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, (S.I.). **Proceedings...**, [S.l.: s.n.], 1990. p. 139-147.

BODIG, J., The effect of anatomy on the initial stress-strain relationship in transverse compression. **Forest Products Journal**. 14, p. 197-202. May, 1965.

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

BRINELL, J.A. *Sätt att bestämma kroppars hardhet jämte några tillämpningar af detsamma*. Teknisk Tidskrift, arg. 30, 1900.

BUCUR, Voichita. Ondes Ultrasonoresdansle Bois. Caracterisationmécaniqueetqualitéde certainesessences de bois. 188p. Thèse (Doctorat en GénieMécanique) –InstitutSupérieur des Matériauxet de la Construction Mécanique, Saint-Ouen, France, 1984.

BUCUR, V. Wood structure anisotropy estimated by acoustic invariants. IAWA Bulletin, Leiden, v. 9, n. 1, p. 67-74, 1988

BUCUR, V; FEENEY, F. Attenuation of ultrasound on solid wood. Ultrasonics. 30(2), 76-81. 1992.

BUCUR, V. Acoustic of wood. Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherche Forestières, Nancy, 283 p, 1995.

BUCUR, V.; **Acoustics of Wood**. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc., 1995.

BUCUR, V.. High resolution imaging of wood. In: Proceedings of the 13 th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. August 19–21, 2002. Berkeley, CA: 231–236. 2002.

BUCUR, V. Environment modifiers of wood structural parameters detected with ultrasonic waves. In: Acoustics of wood. Heidelberg; Berlin: Springer-Verlag, 2006. chap. 9, p. 242-270.

BURGER, M. L. & RICHTER, H. G. Anatomia da madeira. São Paulo: Nobel. 1991. 154p

BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. Introdução à análise de grupamentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE ESTATÍSTICA, 9., São Paulo, 1990. **Anais**. São Paulo, Associação Brasileira de Estatística, ABE, 1990. v. 1, p. 1-20, 42-57.

CAIXETA, R.P.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; LIMA, J.T. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.1, p.43-51, 2003

CALEGARI, L. et al. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. *Cerne*, v.13, n.1, p.57-63, 2007. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/10-02-2009325v13_n1_artigo%2008.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2010.

CALORI, JV., DIAS, GL., **Emprego do Ultra-som na determinação expedita da densidade básica da madeira**. ANAIS 7º EBRAMEM Encontro brasileiro em Madeiras e em Estruturas de madeira. São Carlos, SP, 2000.

CALIL JR. C.; MINÁ, A. J. S. Transverse vibration: An efficient method for structural timber classification. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7: 333-338. 2003. (in Portuguese, with abstract in English).

CALIL. C. J.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

CARDOSO, J. A. Bracatinga. *Brasil Madeira*, Curitiba, v. 3, n. 33, p. 1-10, 1989.

CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JÚNIOR, A.P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra som – fundamentos físicos e resultados experimentais. *Cerne*, v. 9, n. 2, p. 178 191, 2003.

CARRASCO, E. V. M.; OLIVEIRA, S. V. Evaluation of eucalyptus mechanical properties by ultrasound (NDT). In *Rilem Symposium on Timber Engineering*, Estocolmo, 1999. **Proceedings**. v.I. p. 732-738.

CARREIRA, M. R. DIAS, A. A.; CHEUNG, A. B.; CALIL Jr, C. Classificação Estrutural de *Pinus* sp por Vibração Transversal. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., Cuiabá. Anais. Cuiabá, 2004.

CARREIRA M. R.; DIAS A. A.. *Cadernos de Engenharia de Estruturas* 8(34):17-43. (2006).

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da Qualidade da Madeira de *Pinus Taeda* em Diferentes Sítios de Crescimento e Espaçamentos, Através do Método Não Destrutivo de Emissão de Ondas de Tensão**. Curitiba 2007. 180f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CASTRO, F.; WILLIAMSON, G. B.; JESUS, R. M. Radial variation in the wood specific gravity of *Joannesia princeps*: the roles of age and diameter. , Washington, D.C., v. 25, n. 2, p.176-182, 1993.

CHA, J. K.; PEARSON, R. G. Stress analysis and prediction in 3-layer laminated veneer lumber: response to crack and grain angle. **Wood and Fiber Science**. V. 26, n. 1 p.97-106, 1994.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 2005. 123p Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade de Federal do Paraná.

CHIMELO, J.. **Anotações sobre anatomia e identificações de madeiras.** São Paulo, IPT. 1980.

CLEMENT, C. R.; HIGUCHI, N.. A floresta amazônica e o futuro do Brasil {The Amazon forest and the future of Brazil}. **Ciência e Cultura**, 58(3):44-49. 2006.

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

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

COPANT. Maderas – Selección y colección de muestras. **NORMA PANAMERICANA 458**, 1972a.

COPANT. Maderas – Método de ensayo de flexión estática. **NORMA PANAMERICANA 455**, 1973.

COPANT. Maderas – Método de determinación de la compresión paralela al grano. **NORMA PANAMERICANA 464**, 1972c.

COPANT. Maderas – Método de determinación de la dureza. **NORMA PANAMERICANA 465**, 1972e.

COSTA, A. Anatomia da madeira. Coletâneas de Anatomia da Madeira ,2001. Disponível em:<http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf> . Acesso em 14/01/2011.

COWN, D.J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journall of Forestry Science**. V.19, p. 84-94, 1974.

DE PAULA, E. V. C. M. et al. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras do Amazonas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM

ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2, São Carlos, 1986. **Anais**. São Carlos: USP, EESC, SET, LaMEN, 1986. v. 1

DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazonica**. Manaus. v. 40(2). p. 325-332. 2010.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia forestalis** n. 65 p. 102-113, 2004.

DINWOODIE, J. M. Timber its nature and behaviour. Princes Risborough Laboratory. Building Research Establishment. New York: Van Nostrand Reinhold Company Ltd., 1981. 190p.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. Tecnologia da madeira: retratibilidade. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série Técnica, 10)

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

FEENEY, F. E.; CHIVERS, R. C.; EVERTSEN, J. A.; KEATING, J. The influence of inhomogeneity on the propagation of ultrasound in wood. *Ultrasonics*, 36: 449-453. 1998.

FEIO, A. O.; MACHADO, J. S.; LOURENÇO, P. B. Caracterização de propriedades da madeira de castanho na direção perpendicular ao fio: recurso a técnicas destrutivas e não destrutivas de ensaio. CONGRESSO IBÉRICO A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, – “I (: A Madeira na Construção”. S.l.: s.n., 2004. p. 353-362

FERNANDES, G. A. Avaliação de madeiras brasileiras para utilização em guitarras elétricas. 2004. 41f. Graduação em Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade federal de Brasília, Brasília.

FOREST PRODUCTS LABORATORY, Standarts terms for describing Wood. USDA Forest Service Research Papper, Forest Laboratory, Madison, (0171): 1-10. 1999

FURIATI, M. Classificação estrutural de peças de madeira. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, p. 129, 1981.

GALLIGAN, W. L.; **A status report nondestructive testing in wood**, Forest Products Journal, Madison, v14, n5, p.221-227, 1964.

GALLIGAN, W. L.; PELLERIN, R. F.; LENTZ, M. T. A feasibility study: Longitudinal vibration of logs for prediction of lumber quality. Internal report No. 4. Wood Technology Section, Engineering Res. Div., Washington State University, Pullman, Wash. 1967.

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

GALVÃO, A. P. M. & JANKOSKY, I, P. Secagem Racional da Madeira. São Paulo, SP: Nobel, 1984.

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

GONÇALEZ, J. C.; VALLE, A. T.; COSTA, A. F. Estimativas das constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultra-sonoras (ultra-som). *Revista Cerne*, v. 7, n. 2, p. 65-80, 2001.

GONÇALEZ, J. C. *Caracterisation Technologique de Quatre Espèces Peu Connues de La Forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques*. Nancy, 1993. These (Doctorat) - l'ENGREF.

GROBÉRIO, M. P.; ROCCO LAHR, F.A. Indicações para o emprego da madeira de espécies tropicais do Brasil. *Madeira: Arquitetura e Engenharia*, São Carlos, v.8, 2002. (CDROM)

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HALABE, U. B.; GANGARAO, H. V. S.; PETRO, S. H.; HOTA, V. R. Assessment of defects and mechanical properties of wood members using ultrasonic frequency analysis. *Materials Evaluation*, [S.l.], p. 314-322, Feb. 2003.

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

HELLMISTER, L. A. V. **Aplicação do Método das Ondas de Tensão na Caracterização Mecânica de Toras, Pranchas e Tábuas de P. taeda L.** Botucatu, 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP.

HERNÁNDEZ, R; KOUBAA, A; BEAUDOIN, M.; FORTIN, Y. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. *Wood and Fiber Science*, vol 30, n 2. 1998.

HERZIG, L. Evaluation du module d Young de bois d'épinette par méthode ultrasonore sur carottes de sondage. 1992. 290f. Tese (Doutorado - Génie Forestière) - Université Laval, Québec, 1992.

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

HIGUCHI, N. O desmatamento insustentável na Amazônia. Ciência Hoje. v. 39, p. 67-71, Ed. Nov – 2006.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; TRIBUZY, E. S. Manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira. Manaus, p. 140-155, 2006.

ILIC, J. Dynamic MOE of 55 species using small wood beams. **Holz als-Roh Werkstoff**, Heidelberg, v. 61, n. 3, p. 167-172, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. São Paulo: 1985. 189p. (Boletim ABPM, 36)

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Madeiras da Amazônia**: características e utilização. Brasília, DF, 1997. v. 3.

INSTITUTO BRASILEIRO do MEIO AMBIENTE e dos RECURSOS RENOVÁVEIS. *Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeira amazônicas*. Brasília: IBAMA, 1993, Coleção Meio Ambiente – Serie estudo floresta, n.º 1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização: Floresta Nacional do Tapajós. Brasília, DF, 1981. v. 1. 113 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização: Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília, DF, 1988. v. 2. 236 p.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira. Curitiba: FUPEF/Série didática no 1/98, 1998. 128p.

JANKA, G. Die hãrt dês holzes. **Centralblatt für das gessamte Forstwessen**, Wien, 32(5), p. 193-202, 1906.

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

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1999, 815 p.

JUNG, J. Properties of parallel laminated veneer from stress-wave-tested veneers. **Forest Products Journal**, Madison, v.32, n. 7, p.30-35, 1982.

KHATTREE, R. & NAIK, D.N. **Multivariate data reduction and discrimination with SAS software**. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2000. 558 p.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H.E. Moore**. 2000. 291p Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KOLLMANN, F. F. P. Tecnologia de La Madera y sus aplicaciones. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647 p. 1959.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer, v. 2, 1968. 674 p.

KOCH, P., Utilization of the Southern *Pines*. Washington, U. S. Department of Agriculture Forest Service. 734 p.

KOUBAA, A; HERNANDEZ, R; BEAUDOIN, M.; FORTIN, 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". Québec, p.47-53. 1997.

LARA PALMA, H. A. Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. Curitiba: 1994. 167p Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.

LENTINI, M. Fatos florestais da Amazônia. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2005.

LIRA, J. NASCIMENTO, C. Avaliação da densidade básica da madeira do cerne e alburno de oito espécies de madeira. 2009. In: XVIII Jornada de Iniciação Científica de PIBIC/CNPq/FAPEAM/INPA. Resumo expandido. p.635-637.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; PENNA, E. S. Caracterização físico-mecânica da madeira de Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae). *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 43-51, 2008.

LONGUI, E. L. Pau-Brasil e outras espécies nativas empregadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: um estudo comparativo. São Paulo, 2005.

Dissertação (obtenção do título de mestre), Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente.

LOUREIRO, A. A.; FREITAS, J. A.; SILVA, A. C. Chave para identificação macroscópica de 77 madeiras da Amazônia. Manaus: MCT/INPA/CPFF, 1994. 71p.

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1996. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

LUCCHI, G. The use of empirical and scientific methods to measure the velocity of propagation of sound. J. Violin Soc, v. 9, n. 1, p. 107-123, 1986.

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

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

MCDONALD, K. A.; FALK, R. H.; PATTON-MALLORY, M. Nondestructive testing of wood products and structures: state of the art and research needs. Madison: U.S. Dep. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1990.

MARDIA, A. K. V.; KENT. J. T.; BIBBY, J.M. Multivariate analysis. London: Academic Press, 1997, 518p.

MASSERANN, C.; MARIAUX, A. Anisotropic de retrait et structure du bois. Recherche de l'influence des caracteres morphologiques transverses des fibres. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 209, p. 35-47, 1985.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 1997. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MATOS, J. L. M & KEINERT Jr, S. **Uso de emissão de ondas acústicas para classificação de lâminas e produção de painéis estruturais de lâminas paralelas** Trabalho apresentado nos Anais do VI EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e Em Estruturas de Madeira - Florianópolis 22 a 24 de julho de 1998. V4. p-332 a 341.

MATOS, J. L. M, PUEHRINGER, CA, **Caracterização de propriedades de madeiras de *Eucalyptus* pelo uso de emissão de ondas acústicas** ANAIS 7°

EBRAMEM Encontro brasileiro em Madeiras e em Estruturas de madeira. São Carlos, SP, 2000.

MATSUNAGA, M.; SUGIYAMA, M.; MINATO, K. & NORIMOTO, M. Physical and mechanical properties required for violin bow materials. **Holzforschung** 50: 511-517. 1996.

MEINZER, F. C., Functional convergence in plant responses to the environment. **Oecologia**. 134, 1-11. 2003.

MELO, J. E. SIQUEIRA, M. J. Correlação entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras da Amazônia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, São Carlos, 1992. **Anais**. São Carlos: USP, EESC, SET, LaMEN, 1992, v. 1, p. 67-76

METRIGUARD INC. Metriguard Model 239 A Stress Wave Timer. Manual care and instructions, theory and data reduction. Pullmann, 1997.

MORALES, E. A. M. Apostila de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira. Itapeva, SP: 2010 Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Disponível em <http://www.itapeva.unesp.br/docentes/elen/> > Acesso em 28 de Agosto de 2011.

MORESCHI, J. C. Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos Estados do Sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 38-46, 1977.

MICHELOTTI, J., **Uso de Emissão de ondas acústicas para classificação de madeiras de Pinus tropicais** ANAIS 8º EVINCI – Evento de Iniciação Científica, UFPR, 2000.

MUÑIZ, G.I.B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de Pinus elliottii Engelm e Pinus taeda L.** 1993. 235p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

NAHUZ, M. A. R. Some aspects of the introduction of lesser known brazilian species to the european timber market. 1974. 243f. Thesis (Magister in Scientiae) - University College of North Wales, Bangor, 1974.

NASCIMENTO, C. C. **Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia.** 1993. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1993.

NEPSTAD, D.C., VERÍSSIMO, A., ALENCAR, A., NOBRE, C., LIMA, E., LEFEBVRE, P., SCHLESINGER, P., POTTER, C., MOUTINHO, P., MENDONZA, E., COCHRANE, M. e BROOKS, V.. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*. London, v. 398, p. 505-508, 1999.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. Tecnologia da madeira. Curitiba: UFPR- Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologias Rurais, 1975. 200p.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Correlação 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/FUPEF, 2002. 1 CD ROM.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Sensibilidade dos ensaios de ultra-som à ortotropia elástica da madeira. In: CONFERÊNCIA PAN-AMERICANA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS, 3., 2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABENDE, 2003. 1 CD ROM.

NOGUEIRA, E. M.; FRANÇA, M. B.; NELSON, B. W. Densidade de madeira em floresta densa na Amazônia Central e sua aplicação na estimativa de biomassa de florestas no Arco do Desmatamento. 2003. In: Anais (CD-ROM) do 54º Congresso Nacional de Botânica / 3ª Reunião Amazônica de Botânica, Universidade da Amazônia (UNAMA), Belém (13 a 18 de julho de 2003).

NOGUEIRA, E. M.; NELSON, B. W.; FEARNSTIDE, P. M. Densidade do cerne de árvores na Amazônia Central: efeito da temperatura e da reidratação. In: RAZERA, A.; NOGUEIRA, E. M.; FREITAS, D. V.; GONÇALVES, J. F. C.; LUIZÃO, F.J. (eds.), Anais (CD-ROM) do 3º Simpósio Brasileiro de Pós graduação em Engenharia Florestal / 1º Encontro Amazônico de Ciências Florestais, Manaus — AM (22 a 26 de junho de 2004).

NOGUEIRA, M. **Determinação de módulos de elasticidade à compressão de madeira de *Pinus taeda* L. com o uso de ultra-som.** 2003. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2003.

OLIVEIRA, F. G. R. **Estudo de propriedades mecânicas de dicotiledôneas por meio de ensaio não-destrutivo utilizando equipamento de ultra-som.** 2001. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, SãoCarlos, 2001.

OLIVEIRA, F. G. R.; CAMPOS, J. A. O.; SALES, A. Ultrasonic measurements in brazilian hardwood. *Materials Research*, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 51-55, 2002

OLIVEIRA, F. G. R.; 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.

OLIVEIRA, F.G.R. de; SALES, A. Efeito da densidade e do teor de umidade na velocidade ultrasônica da madeira. *Minerva*, São Carlos, v. 2, n. 1, p. 25-31, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997, 429f. Tese(Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PATIÑO-VALERA, F. Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua correlação com o espaçamento. Piracicaba, 1986. 192p. (Tese-Mestrado-ESALQ).

PEREIRA, A. J. DO R.; VASCONCELOS, J. M. C. de.; TAVARES, S.; Características tecnológicas de madeiras do Nordeste do Brasil: Nova contribuição. Recife: SUDENE. 1976. 40p. Recursos Vegetais 6.

PIO, N. S., **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden**. Tese de doutorado, Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR 2002

Pires-O'Brien, M. J. & O'Brien, C.M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. Belém; Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Serviço de Documentação e Informação, 1995. 400p.

POGETTO, M. H. F. A.; BALLARIN, A.W.; COLENCI, R.A. Relações entre a dureza paralela e normal às fibras em madeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10, 2006, Águas de São Pedro. **Anais**. Botucatu: UNESP, 2006. (CDROM)

PONCE, R. M. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. *Silvicultura*, São Paulo, 9 (34): p. 9-13, 1984.

PUEHRINGER, C. A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** Curitiba: 2002. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PUEHRINGER, C. A. **Caracterização de propriedades de madeira pelo uso de emissão de ondas acústicas**. ANAIS 7º EVINCI – Evento de Iniciação Científica, UFPR. 2000.

PUCCINI, C. T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som**. Campinas: UNICAMP, 2002. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, 2002.

RASMUSSEN, D. L. The strength of laminated veneer lumber (LVL) made from second growth Grand fir. Idaho, Thesis. Master of Science. University of Idaho. 49 p. 1994.

RAVENSHORST, G. J. P.; VAN DE KUILEN J. W. G; BRUNETTI, M.; CRIVELLARO, A. Species independent machine stress grading of hardwoods. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 10., Miyazaki. **Proceedings...** Miyazaki: Curran Associates, 2008.

REGAZZI, A. J. Análise multivariada, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2000.

ROCCO LAHR, F. A.; Considerações a respeito da variabilidade de propriedades de resistência e de elasticidade da madeira. São Carlos, 1990. P. 5-104. Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ROCHA, J. S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas**. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.

ROSA, G. M. **Uso de métodos de emissão acústica para determinação não destrutiva de propriedades de painéis compensados de madeira**. ANAIS Pesquisa Florestal On Line UFPR. 2000

ROSS, R. J.; BRASHWA, B. K.; PELLERIN, R. F. - Nondestructive evaluation of wood. Forest Products Journal, vol.48, n.1, p.14-19. 1994.

ROSS, R. J.; BRASHWA, B. K.; PELLERIN, R. F. – Non-destructive evaluation of wood. Forest Products Journal, vol.48, n.1, p.14-19. 1998.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. Nondestructive testing for assessing wood members in structures: a review. Madison: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. 40 p

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. NDE of green material with stress waves: preliminary results using dimension lumber. Forest Products Journal, Amsterdam, v. 41, n. 6, p. 57-59, 1991.

ROSS, R. J.; WANG, X.; MATTSON, J. A.; ERICKSON, J. R.; FORSMAN, J. W.; GESKE, E. A.; WEHR, M. A. Comparison of several nondestructive evaluation

techniques for assessing stiffness and MOE of small diameter logs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12., 2000, Hungary. Proceedings Hungary: Sopron, 2000. p. 155- 163.

ROMERO, I. J. B. Evaluación preliminar de la anisotropía y determinación del módulo de elasticidad de la madera de *Pinus radiata* D. Don. por ultrasonido. 1996. 60 f. Dissertação (Mestrado) Universidad del Bio Bio, Concepción, 1996.

RIBEIRO, J. E. L. S., HOPKINS, M. J. G., VINCENTINI, A., SOTHERS, C. A., COSTA, M. A. S, BRITO, J. M, SOUZA, M. A. D, MARTINS, L. H. P., LOHMANN, L. G., ASSUNÇÃO, P. A. C. L., PEREIRA, E. C., SILVA, C. F., MESQUITA, M. R., PROCÓPIO, L. C. 1999. Flora da Reserva Ducke. INPA-DFID, Manaus, Amazonas. 800 p.

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

SANDOZ, J. L. Triage et fiabilité des bois de construction. Validité de la méthode ultrason. 1990. 183 p. Thèse (docteur en Sciences Techniques) – EPFL, Lausanne.

SANDOZ, J. L. Valorisation of forest products as building material using nondestructive testing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NON DESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 9, 1993, Proceedings. September, 1993.

SANDOZ, J. L; LORIN, P. Standing tree quality assessment using ultrasound. In: FIRST EUROPEAN SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF WOOD. 1994, Sopron. Proceedings, 1. Sopron: University of Sopron, 1994, p. 493 – 502.

SALLENAVE, P. Propriétés physiques e técnicas des bois tropicaux. Paris: Centre Technique Forestier Tropical. France deuxième supplement, 1971. 123p.

SANLAIC, J. As propriedades físicas e mecânicas da madeira. Revista Madeira, 2: 6-12, 1984.

SCANAVACA, L. & GARCIA, J. N. Determinação das Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis** n.65 p.120-129. Jun. 1994.

SCHAD, K. C. Stress wave techniques for determining quality of dimensional lumber from switch ties. USDA Forest Service, **Research Paper FPL** N. 265, 11 P, Madison, 1996.

SCHAD, K. C.; SJAMOLDT, D. L. ROSS, R. J. **Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs. US Forest Products Laboratory.** Research Paper, FPL – RP-546, Madison, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal.** Universidade Federal de Lavras / Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão. Lavras, 1997. 433 p.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado.** Curitiba, 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SHIMOYAMA, V. R. S. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp. 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden.** Curitiba, 2002. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Revista *Árvore*, Viçosa, MG, v.29, n.5, p. 795-799 Set/Out.2005.

SNEATH, P. H. A; SOKAL, R. R. *Numeric taxonomy: the principles and practice of numerical classification.* San Francisco: W. H. Freeman, 1973. 573p.

STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; MELO, R. R.; CALEGARI, L.; VIVIAN, M. A.; CASTELO, P. A. R.; BELTRAME, R. Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*. *Ciência da Madeira*, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 44-53, 2010.

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

STERCK, F. J.; GELDER, H. A.; POORTER, L. Mechanical branch constraints contribute to life-history variation across tree species in a Bolivian forest. **Journal of Ecology.** 94: 1192-1200. 2006.

TABARSA, T.; CHUI, Y. H., "Characterizing microscopic behaviour of wood under transverse compression. Part II. Effect of species and loading direction". Wood and Fiber Science. Vol. 33 (2), p. 223-232. April, 2001.

TELES, R. F. Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com louro vermelho (*Sextonia rubra*). 2009. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

TESTONI, L. *et al.* Variação anatômica da madeira de *Plathymenia reticulata* e sua influência na densidade aparente e velocidade de propagação do som. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INSTITUTO FLORESTAL, 3., 2009, São Paulo. Anais... São Paulo: Instituto Florestal, 2009. p. 125-130. (IF Sér. Reg., n. 40, 2009).

TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. J. Secagem de Madeira. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostila). 2000.

TSEHAYE, A.; BUCHANAN, A. H.; WALKER, J.C.F. Sorting of logs using acoustics. J. Wood Sci & Techn, v. 34, n. 4, p. 337-344, 2000.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

VAN DER SLOOTEN, H. J.; DE PAULA, E. V. C. M. Evaluation of non destructive test methods in stress grading of Amazonian timber species. In: International Union of Forest Research (IUFRO) p. 5.01. Properties and Utilization of Tropical Timbers, Manaus, November, 1984.

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de Eucalyptus. Informe Agropecuário, v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

XAVIER, A. P. P.; CHAHUD, E. Pontes de madeira de Minas Gerais: principais sistemas construtivos e seu estado de conservação. Madeira: Arquitetura e Engenharia, São Carlos, v.18, 2006. (CDROM)

WANG, X. ROSS, R. J., MATTSON, J. A., ERICKSON, J. R., FORSMAN, J. W., GESKE, E. A., WEHR, M. A., **Several Nondestructive Evaluation Techniques for assessing stiffness and MOE of small diameter logs**. Forest Products Laboratory, Research Paper 600. 2002.

WANG, X.; CARTER, P.; ROSS, R.J.; BRASHAW. Acoustic assessment of wood quality of raw forest materials – a path to increased profitability. **Forest Products Journal**, Madison, v.57, n.5, p.6-14, 2007.

WAUBKE, N. V. Grundsätzliche Untersuchungen zur Eignung der Ultraschallimpulslaufzeitmessungen als vereinfachte und genauere Methode zur

KLASSIFIKATION VON bauhölzern. 56p. Institut für Baustoffkunde und Bauphysik der Hochschule der Bundeswehr München, Deutschland, 1981.

WEGST, U. G. K. Wood for sound. American Journal of Botany, St Louis, v. 93, p. 1439-1448, 2006.

WOOD HANDBOOK. **Wood as an Engineering Material**; United States Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, USDA , Forest Service : Madison, WI , 1999

WRIGHT SJ, MULLER-LANDAU HC, CONDIT R AND HUBBELL SP. Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. Ecology84: 3174-3185. 2003.

ZOBEL, B.J. – Inheritance of wood properties in conifers. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 10(3): 65-96, 1961

ANEXO I



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
MINISTERIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA – MCT
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZONIA – INPA
COORDENAÇÃO DE PESQUISAS EM PRODUTOS FLORESTAIS – CPPF
LABORATORIO DE ANATOMIA E IDENTIFICAÇÃO DE
MADEIRA/XILOTECA

Resultado da Análise**Laudo Técnico nº 005/2011****Solicitante:** Dr Niro Higuchi – Dissertação do aluno Fernando da Silva**Endereço/Fone:** CPST**Número de amostras:** (05)**Procedência:** Material coletado na empresa PRECIOUS WOODS AMAZON – Itacoatiara - AM**Tipo de Material:** Amostra de madeira**Número/Nome Vulgar da Amostra:** 01, 02, 03, 04, 05.**Data e hora da solicitação recebida:** 20/05/2011**Recebido por:** Jorge Freitas**Data do Resultado:** 23/05/2011

Handwritten signature in blue ink, likely of the analyst or technician.

Handwritten signature in blue ink, likely of the supervisor or official.

Handwritten signature in blue ink, likely of the recipient or client.

ANEXO II

Laudo Técnico nº 005/2011

RESULTADO:

Análise efetuada com base nas características anatômicas macroscópicas, através do método de comparação (Confronto), tendo como suporte a Xiloteca do LAIM/CPPF/INPA, e de acordo com nossas criteriosas observações, julgamos trata-se de:

- 01 – N.CIENTIFICO: *Nectandra cuspidata* Ness. & Mart.
N. VULGAR: Louro-preto
FAMILIA: Lauraceae
- 02 – N.CIENTIFICO: *Mezilaurus itauba* Taub. ex Mez.
N. VULGAR: Itaúba
FAMILIA: Lauraceae
- 03 – N.CIENTIFICO: *Nectandra cuspidata* Ness. & Mart.
N. VULGAR: Louro-preto
FAMILIA: Lauraceae
- 04 – N.CIENTIFICO: *Nectandra cuspidata* Ness. & Mart.
N. VULGAR: Louro-preto
FAMILIA: Lauraceae
- 05 – N.CIENTIFICO: *Ocotea guianensis* Aubl.
N. VULGAR: Louro-preto
FAMILIA: Lauraceae

Obs: 1) Apoio Técnico: Adenauer Ferreira Góes, Francisco Florêncio da Silva.

Responsáveis pela Identificação:

JORGE ALVES DE FREITAS

Resp. Lab. Anat. Ident. Madeiras CPPF/INPA



FRANCISCO JOSÉ DE VASCONCELLOS

Curador da Xiloteca CPPF/INPA