



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL-PPGEC

MÁRCIO DE LARA PINTO

PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE TECA
(*Tectona grandis*) EM FUNÇÃO DA IDADE

Florianópolis-SC
Março de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL-PPGEC

MÁRCIO DE LARA PINTO

PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE TECA
(*Tectona grandis*) EM FUNÇÃO DA IDADE

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil-PPGEC, área de concentração em “Construção Civil” da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito à obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs.

Florianópolis-SC
Março de 2007

Ficha Catalográfica

Pinto, M. L.

Propriedades e Características da Madeira de Teca (*Tectona grandis*) em função da idade / Márcio de Lara Pinto, Tese-Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC, UFSC, Florianópolis, SC: Márcio de Lara Pinto, 2007, 124p.

Teca, Reflorestamento, Propriedades Físicas, Mecânicas, Anatômicas e Químicas.

OFERECIMENTO

Ao Prof. Dr. João César Hellmeister (*in memoriam*).

A Deus

Ao meu pai José (*in memoriam*)

À minha mãe Luiza

À minha esposa Vera Lúcia

Aos meus filhos Mariele, Ludimila, Marcela e Marcel.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela oportunidade de realizar este curso.

À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), pelo apoio durante a realização deste trabalho.

À Floresteca Agro florestal, pela doação de parte das madeiras e apoio da equipe, em especial ao Engenheiro Florestal Fausto Hissashi Takizawa pela inestimável colaboração.

Ao Coordenador de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Professor Doutor Glicério Trichês, pela atenção.

Ao orientador, Professor Dr. Carlos Alberto Szücs, pela orientação e apoio.

Aos Professores da UFSC - PhD. Roberto de Oliveira, Dr^a. Poliana Dias Moraes, Dr. João de Deus Medeiros, Dr^a. Ângela do Valle, pela atenção e colaboração.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFMT – Dr. José Eduardo Penna, Dr. Norman Barros Logsdon, Dr. Walmir da Silva Moreira, pela troca de idéias e apoio de laboratório.

Aos Professores do Departamento de Estatística ICET da UFMT – Dr. Mariano Martinez Espinosa, Dr. Alejandro Arturo Zavala e Zavala, Msc. Silvana Meira, pela inestimável colaboração.

Ao Professor Dr. Humberto da Silva Metello da UFMT, pela convivência e apoio.

Ao Eng.º Agrônomo Cledson Guimarães, pela colaboração.

Ao chefe de Expediente da Pós-Graduação – PPGEC-UFSC, Marinea V. Almeida pela atenção e apoio.

Ao discente Eduardo Penna, da Engenharia Florestal da UFMT, pela colaboração nos ensaios de laboratório.

PENSAMENTO

A todos os brasileiros que, na violação diária e silenciosa dos seus direitos à moradia,
abrigam e alimentam a esperança em dias melhores.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Procedimentos Silviculturais	20
1.2 Vista Geral das Toras (<i>Tectona grandis</i>), Estocagem e Transporte	21
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	22
2.1 Justificativa do Trabalho	22
2.2 Objetivos	24
2.2.1 Objetivo Geral	24
2.2.2 Objetivos Específicos	24
3 REVISÃO DE LITERATURA	25
3.1 Propriedades Físicas	27
3.1.1 Massa Específica	27
3.1.2 Retratibilidade	29
3.2 Propriedades Mecânicas da Madeira	32
3.3 Anatomia da Madeira	35
3.4 Propriedade Química da Madeira	38
4 MATERIAL E MÉTODO	42
4.1 Descrição do Local	42
4.2 Delineamento Experimental	43
4.3 Procedimentos de Campo	43
4.4 Esquema Proposto	44
4.4.1 Aspectos Normativos	45

4.4.2	Procedimentos de Laboratório.....	46
4.4.2.1	Propriedades Físicas	46
4.4.2.2	Propriedades Mecânicas.....	48
4.4.2.3	Características Anatômicas	50
4.4.2.4	Propriedades Organolépticas	50
4.4.2.5	Propriedade Química	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1	Resultados das determinações das propriedades físicas, mecânicas, características anatômicas e teor de lignina.....	52
5.1.1	Análise dos resultados das propriedades físicas e mecânicas por idade.....	54
5.1.2	Análise dos resultados das propriedades organolépticas e características anatômicas por idade.....	60
5.1.3	Análise dos resultados do teor de lignina em função da idade	62
5.1.4	Resultados das correlações entre as propriedades	63
5.2	Determinação dos estimadores para as propriedades determinadas	67
5.3	Análise de Agrupamento	84
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	90
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
8	ANEXOS.....	116
8.1	Apresentação Fisiológica	116
8.2	Procedimentos de Campo.....	117
8.3	Retirada de Corpos-de-Prova	118
8.4	Procedimentos de Laboratório	119
8.4.1	Preparação dos corpos-de-prova para ensaios físicos e mecânicos.	119
8.4.2	Preparação dos corpos-de-prova para ensaio químico.	120
8.4.3	Estudos anatômicos - determinação do comprimento, largura e espessura de fibras.	122
8.5	Industrialização da Teca.....	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Participação dos maiores exportadores no comércio mundial de madeira e móveis em %	9
Quadro 2 - Total de Floresta plantada de Teca em Mato Grosso	17
Quadro 3 – Custos das operações para produção de mudas implantação, manutenção, desbastes e exploração de Teca, plantada no espaçamento 3 x 2 m.....	18
Quadro 4 – Programa de desbaste de Teca, para uma rotação de 25 anos.	19
Quadro 5 - Receitas obtidas com vendas.....	19
Quadro 6 - Ensaio e Normas para da madeira de <i>Tectona grandis</i> de diferentes idades.....	46
Quadro 7 – Valores médios das propriedades com os limites inferiores e superiores.	53
Quadro 8 - Valores médios da densidade (ρ_{ap}) em função da idade	55
Quadro 9 - Valores médios da retração radial (ϵ_{r2}) em função da idade	56
Quadro 10 - Valores médios da retração tangencial (ϵ_{r3}) em função da idade.....	56
Quadro 11 - Valores médios do coeficiente de anisotropia por inchamento (A_i) em função da idade	56
Quadro 12 - Valores médios do coeficiente de anisotropia por retração (A_r) em função da idade	57
Quadro 13- Valores médios da variação volumétrica (Δ_{Vr}) em função da idade	57
Quadro 14 - Valores médios da resistência obtidos do ensaio de compressão paralela às fibras (F_{c0}).	58
Quadro 15 - Valores médios do módulo de elasticidade (E_{co}) obtidos do ensaio de compressão paralela às fibras.....	58
Quadro 16 - Valores médios da resistência obtidos do ensaio de tração paralela às fibras (f_{t0}).....	59
Quadro 17 - Valores médios da resistência obtidos do ensaio de cisalhamento (f_{v0}).....	59
Quadro 18 - Valores médios de resistência obtidos do ensaio de flexão estática (f_m).	60
Quadro 19 - Valores médios de variação de cerne (Cer) obtidas de medidas macroscópicas.....	60
Quadro 20 - Valores médios de variação de alburno (Alb) obtidas de medidas macroscópicas.....	61
Quadro 21 - Valores médios de comprimento de fibra (CFb) em função da idade.....	61
Quadro 22 - Valores médios de Largura da fibra (LFb) em função da idade.....	62
Quadro 23 - Valores médios de Espessura da fibra (EFb) em função da idade	62
Quadro 24 - Valores médios da variação da Lignina (Lig) em função da idade	63
Quadro 25-Correlações entre as propriedades físicas, mecânicas, características anatômicas e teor de lignina.....	64
Quadro 26 - Classificação de diferentes espécies de madeira e seus diversos usos.....	88
Quadro 27 – Resultados das estimações para resistência a compressão paralela às fibras.	99
Quadro 28 - Resultados das estimações para módulo de elasticidade.....	99
Quadro 29 - Resultados das estimações para resistência à flexão estática.....	99
Quadro 30 - Resultados das estimações para variação de cerne.	100
Quadro 31 - Resultados das estimações para a densidade aparente.	100
Quadro 32 - Variação (%) entre as equações estimadas	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Intensidade de atuação das Indústrias Madeireiras na Amazônia Legal	11
Figura 2 - Taxa de Desmatamento Anual na Amazônia legal.....	12
Figura 3 - Teca jovem para comercialização.....	17
Figura 4 - Imagem da Teca 30 anos	17
Figura 5 - Teca na fase de brota	20
Figura 6 - Fase de muda em viveiro.....	20
Figura 7 - Fase de crescimento no 1ºano.....	20
Figura 8 - Fase de desbrota e crescimento 2ºano	20

Figura 9 - Teca em fase de desbaste - 5 anos	21
Figura 10 – Imagens de Teca com 60 meses.....	21
Figura 11 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova em função do diâmetro	44
Figura 12 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova na viga.....	45
Figura 13 – Comportamento da propriedade mecânica f_{c0} (MPa).....	67
Figura 14 – Comportamento do módulo de elasticidade na compressão paralela (E_{c0}).....	68
Figura 15 – Comportamento da resistência à tração paralela às fibras (MPa)	69
Figura 16 – Comportamento do cisalhamento (MPa).	70
Figura 17 – Comportamento da Flexão (MPa).....	71
Figura 18 – Comportamento do cerne (cm)	72
Figura 19 – Comportamento do alburno (cm).....	73
Figura 20 – Comportamento do comprimento de fibra (μm)	74
Figura 21 – Comportamento da largura da fibra (μm).....	75
Figura 22 – Comportamento da espessura da fibra (μm).....	76
Figura 23 – Comportamento da densidade (g/cm^3).....	77
Figura 24 – Comportamento da retração radial (%).....	78
Figura 25 – Comportamento da retração tangencial (%)	79
Figura 26 – Comportamento da variação volumétrica (%).....	80
Figura 27 – Comportamento do coeficiente de anisotropia de inchamento	81
Figura 28 – Comportamento da anisotropia de retração	82
Figura 29 – Comportamento do teor de lignina.	83
Figura 30 – Classificação entre diferentes espécies através da resistência a compressão paralela às fibras	84
Figura 31 – Classificação entre diferentes espécies pelo módulo de elasticidade.....	85
Figura 32 – Classificação entre diferentes espécies pelo cisalhamento	85
Figura 33 – Classificação entre diferentes espécies pela flexão estática.....	86
Figura 34 – Classificação entre diferentes espécies pela retração radial.....	87
Figura 35 – Classificação entre diferentes espécies pela retração tangencial	87
Figura 36 – Classificação entre diferentes espécies pela variação volumétrica.....	88
Figura 37 - Comportamento da densidade em função da flexão.....	93
Figura 38 - Comportamento da resistência à compressão em função do módulo de elasticidade	93
Figura 39-Comportamento do cerne em função da flexão	94
Figura 40 - Comportamento do módulo de elasticidade em função da compressão.....	94
Figura 41 - Comportamento da flexão em função do cerne	95
Figura 42-Comportamento da densidade em função das variáveis independentes	96
Figura 43 - Comportamento da compressão paralela em função das variáveis independentes.....	96
Figura 44 - Comportamento do cerne em função das variáveis independentes	97
Figura 45 - Comportamento do módulo de elasticidade em função das variáveis independentes	97
Figura 46 - Comportamento da flexão em função das variáveis independentes	98
Figura 47 - Comportamento da variação volumétrica em função das variáveis independentes.....	98
Figura 48 -Fruto carnosos provido de núcleo (drupa) Figura 49 - flor, fruto e folha adulta seca.....	116
Figura 50 – fase de crescimento inicial.....	116
Figura 51 – Marcação e seleção das árvores	117
Figura 52 – Anelamento da casca	117
Figura 53 - Preparação para a secagem natural.....	117
Figura 54 - Avaliação dendrométrica.....	117
Figura 55 - Transporte das peças para desdobro.	118
Figura 56 - Identificação das peças.	118
Figura 57 – Preparação das toras para desdobro	118
Figura 58 – Desdobra para confecção dos corpos-de-prova	118
Figura 59 - Preparação dos corpos-de-prova.....	119
Figura 60 - Corpos-de-prova prontos para ensaio.	119
Figura 61 - Catalogação e registro dos corpos-de-prova.....	119
Figura 62 - Climatização dos corpos-de-prova.	119

Figura 63 - Discos preparados para retirada de amostras de serragem para determinação de lignina.	120
Figura 64 – Discos preparados para retirada das cunhas.....	120
Figura 65 – Seragem preparada para determinação da umidade.....	120
Figura 66 – Dessecador para retirada de umidade	120
Figura 67 – Tratamento com ácido sulfúrico a temperatura de (15 ± 2) °C.....	121
Figura 68 - Amostra em ebulição com água destilada	121
Figura 69 – Material lavado e filtrado.....	121
Figura 70 – Determinação final da lignina.....	121
Figura 71 – Lâmina para determinação das dimensões das fibras.	122
Figura 72 - Fibras na lâmina ampliada.....	122
Figura 73 - Medição para determinação das dimensões das fibras.	122
Figura 74 - Dimensões das fibras ampliadas.....	122
Figura 75 - Toras desdobradas prontas à exportação	123
Figura 76 - Teca desdobrada para comercialização	123
Figura 77 - Teca pronta para exportação.....	123
Figura 78 - Painel de Teca com acabamento.....	123
Figura 79 - Poltrona fabricada de sarrafos de reaproveitamento.....	124
Figura 80 - Portas e móveis com peças de uso comercial	124
Figura 81 – Mesa, cama, balcões e janelas.....	124
Figura 82 – Painéis em sarrafos colados para usos diversos.....	124

ABSTRACT

PINTO, M. L. (2007) – **Properties and Characteristics of Teca Wood (*Tectona grandis*) concerning the age**. Florianópolis - SC, 2007. 124 p. Adviser: Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs. – PhD examination, Post-Graduation Program in Civil Engineering - PPGEC, Federal University of Santa Catarina - UFSC.

Nowadays, the plantation forests represent an alternative to respond to the demand for wood in the worldwide market. The Teca wood is considered one of the best in the world and its value in the international market is five times more than the value of Mogno (*Swietenia macrophylla*). In terms of scientific knowledge, there are few reports, which establish a relation between the data of anatomic structure and the mechanical and physical properties, especially to *Tectona grandis*. The objective of this research work is to evaluate the influence of age variation in the properties of **Teca** (*Tectona grandis*) in order to identify its aptness to be used by the industry and by the building construction, mainly as constructive elements and general finish. The utilized material comes from five, ten and thirty years old reforested commercial planting, located in the Central-West region of Brazil where there is a great production of this species. In this research, nine trees were used and they were divided in three trees/age. In order to characterize the material, it was realized some essays to determine the physical properties (basic specific mass, apparent specific mass, retractibility of volume, and anisotropy), anatomic properties, mechanical properties (module of elasticity and resistance to parallel compression, static flexion, metal shavings, parallel traction) and lignin substance. Through the age variation, it was defined mathematical models to estimate the wood behaviour to each property until 30 years. It was identified the age influence by the observation of the alterations, mainly in the properties related to specific mass, concerning the perceptual of variation in alburnum and core and their correlations to the mechanical parameters. Based on the obtained results, it is present a comparative study with native species, and the establishment of aptness correlations to the utilization. It was showed that the young woods of this species could be used in several sections of the productive sector, once it is considered the properties in the age of extraction to attend the specific solicitations. The best correlations were: Density (ρ_{ap}), Module of Elasticity (E_{c0}), resistance to parallel compression (f_{c0}), resistance to static flexion (f_m) and Core (Cer).

Key words: Teca (*Tectona grandis*); reforestation; properties.

RESUMO

PINTO, M. L. (2007) – **Propriedades e Características da Madeira de Teca (*Tectona grandis*) em função da idade**. Florianópolis - SC, 2007. 124 p. Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs. – Exame para Doutorado, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Atualmente as florestas plantadas representam uma alternativa para atender à demanda por madeiras no mercado mundial. A madeira da Teca é considerada uma das melhores do mundo, sendo que seu valor no mercado internacional alcança cinco vezes o valor do Mogno (*Swietenia macrophylla*). Cientificamente, ainda poucos são os trabalhos que procuraram relacionar os dados da estrutura anatômica com as propriedades físicas e mecânicas especificamente da *Tectona grandis*. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da variação da idade nas propriedades da madeira da **Teca** (*Tectona grandis*) com o propósito de identificar a sua aptidão de uso na indústria e na construção civil, principalmente como elementos construtivos e de acabamento de uma forma geral. O material utilizado é de plantios comerciais reflorestados, com idades de cinco, dez e trinta anos, provenientes da região Centro - Oeste que se desponta no país, como principal produtora da espécie. Para o estudo, foram utilizadas nove árvores, correspondentes a três por idade. Para caracterização do material, realizaram-se ensaios para determinação das propriedades físicas (massa específica básica, massa específica aparente, retratibilidade volumétrica e anisotropia), propriedades anatômicas, propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela, flexão estática, cisalhamento, tração paralela) e teor de lignina. Com a variação da idade, definiram-se modelos matemáticos para estimar o comportamento da madeira para cada propriedade até 30 anos. Identificou-se a influência da idade observando as alterações decorrentes, principalmente nas propriedades ligadas à massa específica, tendo em vista o percentual de variação de alburno e cerne e suas correlações com os parâmetros mecânicos. Com base nos resultados, apresenta-se estudo comparativo com espécies nativas, estabelecendo correlações de aptidões para a utilização. Houve comprovação de que as madeiras jovens desta espécie podem ser utilizadas em diversos segmentos do setor produtivo, desde que sejam consideradas as propriedades nas idades de extração para atender as solicitações específicas. As melhores correlações foram: Densidade (ρ_{ap}), Módulo de Elasticidade (E_{c0}), resistência à compressão paralela (f_{c0}), resistência à flexão estática (F_m) e Cerne (Cer).

Palavras-chave: Teca (*Tectona grandis*); reflorestamento; propriedades.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O setor madeireiro brasileiro tem encontrado dificuldades na aquisição de madeiras nobres devido a pressões ambientais, pouca oferta de reflorestamento e de uma exploração seletiva de florestas nativas de forma sustentável.

Há necessidade de expandir esse setor, o que fica evidente se for considerado o mercado de produtos de base florestal, do qual o Brasil detém uma fatia mínima se comparado com países como a Malásia, que fornece 80% da madeira tropical em pranchas para o mercado internacional e é o segundo país em exportação mundial de madeira após a Indonésia (*Asian Timber*, Outubro 1996).

A ampliação da oferta de madeira oriunda de plantios florestais deverá ocorrer com grande intensidade no hemisfério sul, onde existe disponibilidade de áreas para o plantio, mão-de-obra e, principalmente, tecnologia para a formação de florestas de rápido crescimento. Para se ter uma idéia do potencial de crescimento do setor florestal no Brasil, dos 320 milhões de metros cúbicos consumidos anualmente, apenas 25% é proveniente de florestas plantadas (Prodeflora - Programa de Desenvolvimento Florestal de Mato Grosso - 2000).

O Quadro 1 a seguir apresenta a participação dos maiores exportadores no comércio mundial de madeira industrializada.

Quadro 1 - Participação dos maiores exportadores no comércio mundial de madeira e móveis em %

(Fonte: Elaborado a partir de ONU-PCTAS (fornecidos por NEIT-IE-UNICAMP)).

País	1995	1996	1997	1998	1999
	U\$\$ bi	U\$\$ bi	U\$\$ bi	U\$\$ bi	U\$\$ bi
Canadá	14,87	15,98	16,48	16,36	17,54
Itália	10,86	10,98	10,29	10,61	9,56
Estados Unidos	8,21	7,92	8,68	8,48	8,10
Alemanha	7,58	7,19	6,80	7,95	7,33
Indonésia	6,10	5,95	5,23	3,09	4,27
Malásia	5,47	5,48	5,00	3,67	4,16
Suécia	4,85	4,59	4,43	4,41	3,99
França	3,84	3,70	3,56	4,01	3,79
China	2,53	2,57	3,25	3,50	4,09
Bélgica	3,13	3,00	3,00	2,99	3,09
Brasil	1,47	1,37	1,46	1,33	1,54
Total mundo*	82,1	87,8	90,7	88,5	94,5

Até a década passada, o maior objetivo na implantação de um plantio florestal era obter a máxima produção volumétrica.

Atualmente, porém, já existe uma crescente preocupação no que se refere à capacidade para preencher os requisitos necessários à fabricação de um determinado produto. Assim, conhecendo-se a matéria prima, com origem certificada através de controle tecnológico adequado, possibilitando obter um produto final de qualidade.

Sabe-se que ainda existem madeiras em abundância no país (Prodeflora - Programa de Desenvolvimento Florestal de Mato Grosso - 2000). No Estado de Mato Grosso, por exemplo, verifica-se a importância do setor florestal representada pelas indústrias madeireiras, com seu envolvimento no desmatamento, beneficiamento e no comércio de madeira. A região norte mato-grossense se constitui hoje numa das principais atividades econômicas do estado e um dos principais fornecedores do país com um número aproximado de 1.136 unidades de produção (Prodeflora - Programa de Desenvolvimento Florestal de

Mato Grosso - 2000). O Estado de Mato Grosso possui uma extensão territorial de 906.806 km²; deste total, mais da metade se situa acima do paralelo 13, considerada parte da Floresta Amazônica, com cobertura florestal existente ou com aptidão para reflorestamento. O potencial florestal remanescente estimado está em torno de 400 milhões de m³ e possui um parque industrial florestal com capacidade instalada para processar aproximadamente 4 milhões de m³/ano de madeira, sendo necessários aproximadamente 627.000 ha. de floresta natural para suprir essa demanda.

Este segmento é responsável atualmente pela criação de 39 mil empregos diretos, representando 26% do total de empregos da indústria em Mato Grosso (sendo o maior gerador de empregos), além de produzir 8% do ICMS total do Estado (R\$ 76 milhões/ano), representando 35% do total gerado pela indústria (May *et al* 2000 citado por Viana *et al* 2002).

Cerca de 350 mil pessoas dependem direta e indiretamente do setor florestal (16% da população do Estado). O PIB da cadeia produtiva desse setor, em 1998, foi de R\$ 500 milhões, correspondendo a 6,4% do PIB total do Estado. É o segundo colocado no item de exportação do Estado, perdendo somente para a soja (May *et al* 2000 citado por Viana *et al* 2002). A combinação do desmatamento para formar campos agropecuários com o manejo extrativista, mesmo com retirada seletiva de madeira, resulta na rápida diminuição do estoque remanescente das florestas.

A Figura 1, a seguir, mostra a intensidade de atuação das madeireiras na Amazônia legal.

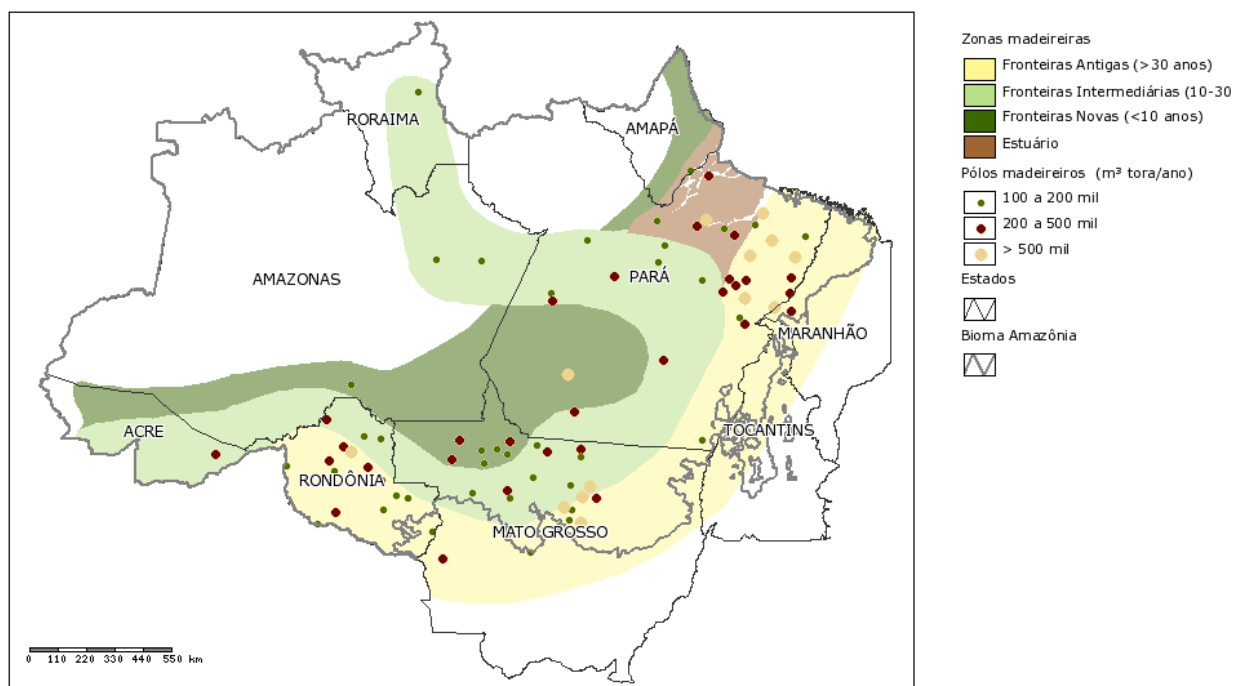


Figura 1 - Intensidade de atuação das Indústrias Madeireiras na Amazônia Legal

(Fonte: INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - 2006)

Até agosto de 1998, o estado registrou uma área desmatada de 131.808 km² (INPE, 1999), constituindo quase 24% de toda a área desmatada na Amazônia Legal. A velocidade deste processo de ocupação aumentou de forma considerável, entre 1990 e 1995, mas verifica-se uma tendência de estabilização no período de 1995 a 2001. Devido a ações de fiscalização e repressão mais vigorosas assumidas pelo governo do Estado a partir de 2000, através do Pacto Federativo, espera-se registrar um retrocesso nas taxas de desmatamento May *et al* 2000 citado por Viana *et al*, 2002. Além do estoque nativo, Mato Grosso conta somente com 28 mil hectares de florestas plantadas de Teca. Cerca de 1.500 hectares estão sendo reflorestados anualmente no Estado com espécies para exploração de madeiras para utilização industrial (principalmente Teca¹ – *Tectona grandis*). Esta área reflorestada não compensa de modo algum a redução do estoque, mesmo que o Estado apresente um ótimo índice de recomposição natural do seu Ecossistema Florestal, isso não será suficiente para repor a atual demanda.

¹ **Teca - *Tectona grandis* (Verbenaceae)**, conhecida também pelos nomes de Teak, Teck e Tiek

A indústria madeireira cresceu extraordinariamente nos últimos 10 anos em Mato Grosso e na Amazônia, cuja fonte de matéria prima principal está sendo buscada no desmatamento autorizado, bem como no desmatamento não autorizado. Existe uma relação direta entre as altas taxas de desmatamento anual e o incremento da produção madeireira no Mato Grosso. Essas fontes não sustentáveis de madeira impulsionaram o crescimento acelerado da indústria madeireira no Mato Grosso (tal como na Amazônia). No entanto, paradoxalmente, sinalizam para sua inviabilidade em médio prazo (Viana, 2000). A Figura 2 mostra a taxa de desmatamento anual na Amazônia Legal.

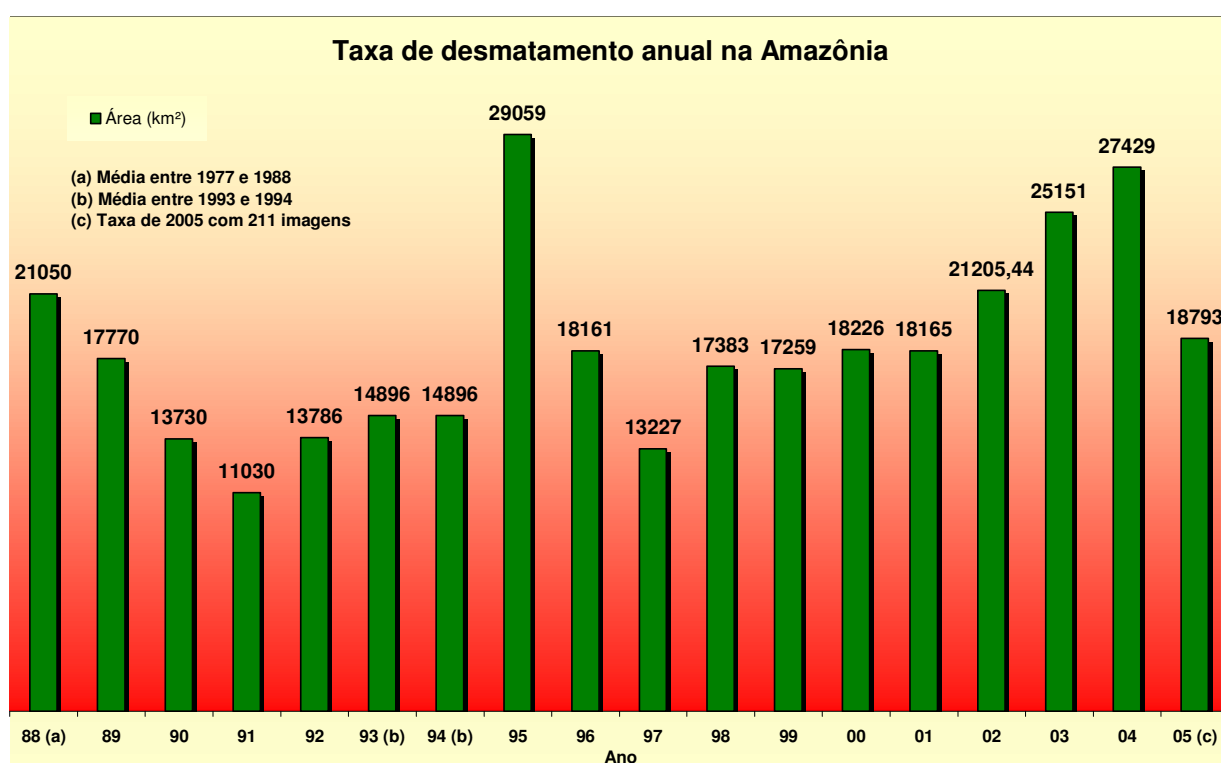


Figura 2 - Taxa de Desmatamento Anual na Amazônia legal

(Fonte: INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial)

Nos últimos 20 anos foram desmatados 314.766 km² o que representa 6,5% da área total da Amazônia legal (4.906.784 km²). O número foi calculado com base em dados obtidos pelo INPE até o ano de 2005.

Uma alternativa para o mercado produtor é o aproveitamento do potencial de madeiras de rápido crescimento, e do seu subproduto com utilização das primeiras linhas de

corte de desbaste. É o caso a Teca - *Tectona grandis*, com grande expansão na região Centro - Oeste e Norte do Brasil.

A madeira da Teca se apresenta no rol de alternativas de matéria-prima básica para esta situação, pois oferece um potencial de qualidades físicas e mecânicas.

A *Tectona grandis* é uma espécie arbórea, (característica de Floresta Tropical), pertencente à família *Verbenaceae*, Ordem *Verbenales*, (LAMPRECHT, 1990).

Na região de Cáceres - MT, a espécie alcançou diâmetro de corte em 25 anos (menor ciclo de corte). Na Ásia, o seu ciclo de rotação e corte é variável de 60 a 100 anos. Em virtude desse fato, Mato Grosso possui boa produção com reflorestamento dessa madeira, com um dos menores custos do mundo (Manual da Cáceres Florestal, 1997, on-line). De acordo com a Cáceres Florestal, a produtividade no reflorestamento da *Tectona grandis*, em condições adequadas de semente, sítio, implantação, manutenção e manejo, deve situar-se entre 10 m³ e 15 m³ ha /ano. Por outro lado, o menor ciclo de corte recomendado na produção da madeira para serraria e laminação é de 25 anos.

Nessas condições, a produção de madeira de valor comercial ficaria entre 250 m³ e 375 m³ /ha. Mais de 60% da produção total da floresta plantada são colhidos por ocasião do corte final ao término do ciclo de corte. Considerando tal produção, o percentual corresponderia a um volume entre 150 m³ e 225 m³ /ha no maior ciclo de corte.

Na natureza, a floresta produz de 15 a 25 m³ ha/ano de madeira aceita no mercado madeireiro (utilizável). Considera-se, para efeito de cálculo, 20 m³/ha a quantidade de madeira normalmente explorável num hectare de Floresta Tropical Amazônica. (Revista da Madeira n°. 64, 2002, on-line).

No Estado de Mato Grosso, sabe-se que uma madeireira de médio porte consome aproximadamente 12.000 m³ de toras/ano (Manual da Cáceres Florestal, 1997, on-line).

Conforme o referido Manual, atualmente um reflorestamento de Teca, em seu ciclo final, produzirá cerca de 450 m³/ha. (ciclo de corte igual a 25 anos).

Tendo-se uma serraria de médio porte, pode-se deduzir que ela precisaria apenas de 30 ha para ter a mesma produção, com um lucro 10 vezes maior. Logo, cada hectare implantado, desse empreendimento, alivia a pressão sobre uma área de floresta natural de aproximadamente 22,5 ha.

Como se pode detectar na região de Cáceres, a "produção" é o volume de madeira de valor comercial, colhido no desbaste e no corte final de uma floresta plantada. No cálculo da estimativa da produção futura de uma floresta plantada, devem ser considerados: a "produtividade", que é o incremento médio anual em volume das árvores, e o "ciclo de corte", que é o prazo que se estende do plantio das mudas até o corte final das árvores.

Embora os volumes colhidos nos desbastes sejam menores e a qualidade de sua madeira inferior àquela do corte final, sua utilização, comercialização e industrialização são viáveis e podem gerar um bom retorno.

A madeira do primeiro desbaste, colhida a partir do terceiro ano, é também utilizada na forma roliça (moirões, escoras, varas, esteios e vigamento para construções rústicas).

No segundo desbaste, que deve ocorrer a partir do sexto ano, o diâmetro é maior, permitindo que a madeira seja serrada em vigotas e caibros, sendo também produzidos lambris, painéis de sarrafos colados para indústria moveleira e produção de portas e janelas.

O terceiro e quarto desbastes, previstos para ocorrerem, respectivamente, a partir do nono e décimo segundo anos, possibilitam produzir madeira serrada, empiricamente considerada como de melhor qualidade, inclusive para exportação. Ressalta-se ainda a exportação de toras *in natura*, considerando a existência de um bom mercado para peças com diâmetros médios a partir de quinze centímetros (Manual da Cáceres Florestal, 1997, on-line).

Trata-se de madeira leve, resistente, estável, durável, fácil de trabalhar e de agradável visual, características e propriedades que lhe tem conferido procura e valorização desde a Antigüidade, como espécie nativa, e com aceitação no mercado consumidor como madeira de reflorestamento, atingindo uma escala importante. É espécie florestal exótica, que já ocorre no Estado de Mato Grosso, onde possui facilidade de vegetação, sendo uma árvore de grande porte, tronco retilíneo e de rápido crescimento.

Transcrito do livro "Silvicultura nos Trópicos" (LAMPRECHT, 1990), mais considerações e descrições sobre a espécie:

"A área de ocorrência natural da Teca situa-se entre 10° e 25° N no subcontinente Índico e no Sudeste Asiático, especialmente na Índia, Burma, Tailândia, Laos, Camboja, Vietnam e Java. Na Malásia não ocorre

naturalmente, sendo uma das regiões pioneiras em produção de florestas plantadas de Teca.

Sua dispersão vertical é de 0 a 700 m acima do nível do mar, em Burma até 1.000 m e na Índia até 1.300 m de altitude.

Essa essência caducifolia atinge alturas entre 25 a 35 m, raramente acima de 45m, e DAP de 1,00 m ou mais.

As folhas de disposição oposta a verticilar em grupos de três são coriáceas e possuem comprimentos de 30 cm a 60 cm e larguras entre 20 cm a 35 cm. Os limbos são largos-elípticos, glabros na face superior, bem como tomentosos e verruculosos na face inferior. Já durante a fase juvenil as árvores são altamente sombreantes.

A pequena flor branca dispõe-se em panículas de até 40 cm x 35 cm. Os frutos drupáceos de forma cilíndrica e de cor marrom possuem diâmetros de cerca de 1 cm; apresentam 4 valvas, mas apenas produzem geralmente entre uma a três sementes. Sua madeira possui o alburno estreito e claro, é bem distinto do cerne, de coloração marrom viva e brilhante. A densidade encontrada a 12% é em torno de 0,64 g/cm³. “O aroma da madeira recém abatida faz lembrar couro.”

A Teca nativa produz uma das madeiras mais belas e melhores que existem, de excelente qualidade em todos os aspectos. Destaque especial deve ser dado à enorme durabilidade natural e à boa resistência contra ataque de insetos e fungos. Por natureza é resistente contra cupim, mas não totalmente contra brocas marinhas (Manual da Cáceres Florestal, 1997, on-line). A madeira, de acentuada beleza, tem uma coloração uniforme marrom-dourada, que uma vez exposta ao ar livre adquire um tom mais escuro.

A Teca nativa pode ser utilizada para as mais diversas finalidades. É considerada como uma das melhores na construção naval, é extremamente adequada para todo o tipo de construções dentro e fora d'água, bem como para mobiliário e para acabamentos de interiores de alto padrão. A madeira contém um óleo que impede a corrosão de pregos. É igualmente uma matéria-prima utilizada para a indústria de laminados e compensados. Ademais, fornece em toda sua área de ocorrência, uma madeira procurada para uso como lenha e carvão vegetal. A Teca, em sua região de origem (Ásia), precisa de 90 a 100 anos para atingir o diâmetro de corte. Seu tronco retilíneo é revestido por uma casca espessa que a

protege do fogo, é de grande porte, podendo alcançar 2,50 metros de diâmetro e 50 metros de altura em floresta nativa (Manual da Cáceres Florestal, 1997, on-line).

Em reflorestamento, é classificada como de fácil cultivo e rápido crescimento, é rústica e boa usinabilidade, aparentemente é considerada pouco suscetível ao ataque de pragas e doenças.

A madeira de Teca tem alto valor de mercado, atribuída principalmente as suas propriedades conhecidas de sua região de origem nativa com os seguintes indicadores:

a) peso e resistência: com densidade média de $0,65 \text{ g/cm}^3$, é leve com boa resistência;

b) estabilidade e durabilidade: não empena e pouco se contrai durante a secagem; é imune ao ataque de cupins e outros insetos; pode ser enterrada ou exposta ao tempo sem deteriorar-se;

c) aparência e utilização: utilizada na produção de móveis, esquadrias e pisos de qualidade, decoração e construção naval;

d) valor: É maior que o mogno, chegando a quase três vezes mais.

e) mercado: amplo e com tendência ao crescimento.

O Brasil hoje é exportador dessa madeira em toras para Índia e, para o Japão, em caibros, que são utilizados nas indústrias de iates para fazer convés, dadas as suas características antiderrapantes (Reflora 1997).

Isso demonstra claramente o enorme potencial do mercado nacional para utilizar a madeira de Teca jovem, conhecida como "QUADRIS", por possuir razoável percentual de cerne, podendo já em princípio confeccionar, a partir dela, móveis e painéis. O Quadro 2, demonstra a quantidade de floresta plantada de Teca em Mato Grosso dada a área ínfima plantada frente as disponíveis no estado.

Quadro 2 - Total de Floresta plantada de Teca em Mato Grosso

(Fonte: Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso 2005)

Qtde	Localização	Área Plantada (ha)
1	JUÍNA	300
2	BRASNORTE	1300
3	JURUENA	500
4	CÁCERES	4823
5	SANTO ANTÔNIO DE LEVERGER	90
6	JANGADA	6276
7	ROSÁRIO OESTE	15000
8	SÃO VICENTE (CUIABÁ)	150
9	CHAPADA DOS GUIMARÃES	70
10	ALTA FLORESTA	500
11	SINOP	800
	TOTAL	29809

* No âmbito mundial, a área plantada excede dois milhões de hectares.

As Figuras 3 e 4 mostram as secções das madeiras em idades diferentes. A Figura 3 é referente aos primeiros desbastes da madeira Teca (até 10 anos) preparada para comercialização. A Figura 4 mostra o albarno e cerne da Teca de 30 anos.



Figura 3 - Teca jovem para comercialização
Fonte : (2005)



Figura 4 - Imagem da Teca 30 anos
Fonte: (2005)

Tsukamoto et al, (2003) apresentam importante contribuição realizando uma análise econômica de plantio de Teca (*Tectona grandis* L.f.) submetido a desbastes, implantado em

área de cerrado no Estado de Mato Grosso. Os Quadros 3 a 5 apresentam os custos, em reais, por hectare das operações para produção de mudas, implantação, manutenção, desbastes e exploração de Teca, segundo os referidos autores.

Quadro 3 – Custos das operações para produção de mudas implantação, manutenção, desbastes e exploração de Teca, plantada no espaçamento 3 x 2 m.

(Fonte: Tsukamoto et al, 2003).

Especificação	Ano de Ocorrência	Custo Total (R\$/ha)
Custos de projeto	0	410,00
Custos de produção de mudas	0	189,7
Custos de preparo de terreno	0	301,50
Custos de plantio	0	133,90
Custos de manutenção (1º ano)	0	215,50
Custos de manutenção (2º ao 4º ano)	2-4	151,50
Custos de manutenção (desrama)	2-5	40,00
Custos de manutenção (adubação)	4, 8, 12	18,90
Custos anuais de manutenção	1-25	132,50
Custos de desbastes	4, 8, 12, 16, 20, 25	[Volume (m ³) x 127,1]*
Custos de exploração	25	[Volume (m ³) x 125,1]*

* O fator de cubicação usado foi de 3,31 metros estéreo para cada metro cúbico de madeira retirada do plantio.

Quadro 4 – Programa de desbaste de Teca, para uma rotação de 25 anos.

(Fonte: Tsukamoto et al, 2003).

Intensidade de Desbaste %	Desbaste	Ano	Nº. de Árvores Desbastadas por Hectare
50	1	4	833
40	2	8	333
40	3	12	200
40	4	16	120
40	5	20	72
100	CF	25	108
Total			1.666

Quadro 5 - Receitas obtidas com vendas

(Fonte: Tsukamoto et al, 2003).

Idade de Desbaste (anos)	Receita (R\$ / ha.)
04	3.250,00
08	7.816,80
12	14.233,95
16	17.564,40
20	26.231,95
Corte final	76.542,00
Total	145.639,10

1.1 Procedimentos Silviculturais

Os procedimentos silviculturais utilizados nas diversas fases da cultura fazem parte das técnicas de rotina implantadas nas empresas nos seus plantios comerciais, conforme as Figuras 5 a 8.



Figura 5 - Teca na fase de brota



Figura 6 - Fase de muda em viveiro

Fonte: EMBRAPA (2004)



Figura 7 - Fase de crescimento no 1º ano



Figura 8 - Fase de desbrota e crescimento 2º ano

Fonte: EMBRAPA (2004)

São apresentadas as diversas etapas de crescimento, desde a preparação das mudas e plantio, demonstrando que é muito rápido, quando não há competição com ervas daninhas e conta com amplo espaço lateral. A Teca não necessita de tratos culturais complexos. A manutenção do terreno limpo no primeiro ano de cultivo é suficiente para que tenha um bom crescimento.

A Figura 9 mostra o manejo adotado com o desrame e monitoramento:



Figura 9 - Teca em fase de desbaste - 5 anos
Fonte. REFLORA (2004)

Observa-se que em suas primeiras fases de desenvolvimento no período da seca, as plantações ficam susceptíveis ao fogo devido à grande concentração de folhas secas.

Segundo Wagner (1989) para protegê-las, pelo menos nos primeiros dez anos de vida, há necessidade de se adotarem medidas de proteção contra incêndio. Nas fases seguintes, ela é relativamente resistente ao fogo.

1.2 Vista Geral das Toras (*Tectona grandis*), Estocagem e Transporte.

O transporte das toras ocorre após a seleção para o desbaste com dois cortes e dois desrames aos cinco anos, como ilustra a Figura 10.



Figura 10 – Imagens de Teca com 60 meses
Fonte. REFLORA (2004)

CAPÍTULO 2

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

2.1 Justificativa do Trabalho

A utilização da madeira em idades não convencionais, juvenis, ainda é um desafio do ponto de vista científico, especialmente para uso na indústria de móveis e setores da construção civil. No caso da madeira de Teca justifica-se o presente trabalho pelos seguintes pontos:

- Pelo fato da *Tectona grandis* apresentar grande valor de mercado, já está sendo comercializado prematuramente na fase juvenil sem o total conhecimento de suas propriedades, cujo apoio encontra-se apenas em referências tecnológicas sem especificação da idade, comparando-as com as nativas originárias dos continentes asiáticos.
- No Brasil, ainda não se tem o total conhecimento de suas propriedades nas idades mais jovens, oriundas de florestas plantadas.
- É fundamental se determinar as propriedades de resistência da madeira de floresta plantada, com base em sua estrutura lenhosa, nas idades mais jovens (5, 10, 15, 20) anos, de modo a permitir a classificação do uso, contribuindo para a sua certificação comercial.
- Existe carência de mais informações quanto às propriedades das madeiras provenientes de florestas plantadas, com espécies de rápido crescimento, notadamente aquelas com potencial de uso múltiplo.
- Transferência de informações para os pólos produtivos e outros setores industriais de base florestal, quanto às características e possibilidades de usos da madeira da Teca como matéria-prima básica e estratégica para as suas atividades.
- Destaque para a sua madeira em função das altas taxas de produtividade das florestas plantadas, tronco retilíneo, elevada plasticidade, boa adaptação em grande parte do território brasileiro.

- Agregar valor à madeira produzida pelas florestas plantadas com a incorporação de inovações tecnológicas, qualificando-a para usos alternativos mais nobres, propiciando com isso a garantia de competição em mercados futuros.
- A popularidade de produtos originários, a partir de madeira sólida, preferencialmente baseada em madeiras certificadas, é uma tendência que tem prevalecido nos mercados internacionais.
- Com a modernização dos diversos campos do setor industrial, há necessidade de aumentar e melhorar as informações quanto ao uso da madeira de florestas plantadas.
- O estudo das características e de suas inter-relações é muito importante no entendimento do comportamento da madeira florestada para seu melhor aproveitamento, possibilitando antecipação do seu corte, gerando um custo-benefício mais rápido.
- A obtenção de matéria-prima mais adequada e homogênea é fundamental para certificação da qualidade e produtividade no âmbito da tecnologia da madeira de florestas plantadas.
- Não existem conhecimentos das principais propriedades do seu tecido lenhoso, cujas propriedades futuras, até 30 anos, podem ser estimadas desde as primeiras idades. Possibilita-se, com isso, um modelo de classificação para investimentos em mercados futuros.
- Necessidade de substituição das espécies nativas tradicionais, como cedro, mogno, entre outras, por uma madeira oriunda de florestas plantadas e com propriedades semelhantes.
- A tendência de escassez dos estoques nativos e das restrições de caráter ambiental por parte dos consumidores, principalmente os internacionais, os quais exigem certificação de procedência, o que nos conduz à necessidade de estudos dessa natureza.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo Geral

Gerar subsídios que possibilitem valorizar o emprego da madeira de Teca (*Tectona grandis*) obtida em diferentes idades a partir de florestas plantadas no Estado de Mato Grosso.

Determinar e analisar as propriedades físicas, mecânicas e anatômicas definindo um conjunto de dados que possibilitem a melhor indicação para exploração e uso da Teca (*Tectona grandis*) em diferentes etapas de sua formação.

2.2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar a madeira, *Tectona grandis*, sob três diferentes idades, quais sejam, 05, 10 e 30 anos.
- b) Determinar as propriedades: físicas (densidade aparente, retração, inchamento e variação volumétrica), organolépticas (alburno e cerne), anatômicas (comprimento, largura e espessura de fibra), química (lignina) e resistência mecânica (compressão paralela as fibras, tração paralela as fibras, cisalhamento e resistência a flexão).
- c) Definir modelos de estimação que permitam conhecer as propriedades e suas aplicações para outras idades.
- d) Apresentar diagrama de correlação das propriedades desta madeira.
- e) Testar a correlação entre as diversas propriedades da madeira de Teca.
- f) Determinar qual o melhor intervalo dentre as idades para o corte que esteja em acordo com suas melhores propriedades.

CAPÍTULO 3

3 REVISÃO DE LITERATURA

Como já mencionado, a utilização da madeira permanece um desafio do ponto de vista científico e tecnológico, sobretudo em se tratando de uso em idades juvenis não convencionais na indústria de móveis e setores da construção civil.

Esta revisão tem a finalidade de informar e destacar os esforços dos pesquisadores no sentido de cada vez mais apresentar estudos com contribuições importantes, visando a obtenção de material adequado às novas exigências de mercado relativas à certificação do produto.

Dadswell (1972), Zobel e Bujtenen (1989), citados por Silva (2002), afirmaram que a grande variabilidade nas características de um lenho, durante o período de crescimento da árvore, acarreta variações na sua estrutura e nas suas propriedades. Nas camadas mais próximas da medula, o cerne é formado pela madeira juvenil, com características muito diferentes das camadas mais próximas da casca, que formam a madeira adulta. A formação da madeira juvenil implica um ritmo de crescimento mais acentuado e resulta em material de propriedades mecânicas inferior.

Ponce (1993) alerta que há uma necessidade de esforços dos pesquisadores, cada vez maior, no sentido de adequação das tecnologias de processamento das espécies já introduzidas e um criterioso estudo de seleção de espécies e melhoramento genético, com a finalidade de obter material apropriado às novas demandas do mercado.

Kucera (1994) enfatiza que a qualidade da madeira produzida em cada fase de crescimento da árvore pode facilmente ser estudada por meio de uma análise de suas propriedades anatômicas, físicas e químicas. Cada propriedade gera uma característica polinomial de crescimento definida, que representa a variação da medula para a casca, em que o tempo é fator decisivo.

Oliveira (1997) assegura que a madeira proveniente de reflorestamentos de rápido crescimento deve ser considerada como matéria-prima diferente daquela madeira resultante de ciclo longo.

O IPT (1999) realizou estudos com amostras de Teca na região de Cáceres MT, sem especificar a idade, apresentando valores para propriedades físicas; densidade aparente de 0,66 g/cm³, contrações tangencial de 4,66% e radial de 2,10%. Para propriedades mecânicas; resistência à compressão de axial de 47 MPa; módulo de resistência na flexão de 92 MPa e módulo de elasticidade na flexão de 9.307 MPa.

Klock (2000), citando vários pesquisadores, declara que os estudos de qualidade da madeira devem levar em consideração as variações da idade e da posição na árvore. Tais variações implicam a existência de grandes diferenças nas propriedades da madeira, cujas causas são difíceis de serem identificadas isoladamente, devido à multiplicidade de fatores e grande interação entre eles.

Silva (2002), citando Pulkki (1991), destaca a diferença de idade, a qualidade genética, o nível de melhoramento da árvore, a variação entre procedências, as condições ambientais, os tratamentos silviculturais e o controle de pragas e doenças como principais causas de variação nas características da madeira. Segundo o mesmo autor, a qualidade da madeira depende das condições oferecidas pela floresta e suas interações com as variáveis de processamento na indústria. O manejo da floresta, através de espaçamentos adequados, desrama e desbaste, reduz a formação de nós e inúmeros outros defeitos, bem como a proporção de madeira juvenil, através do prolongamento da rotação da idade de colheita.

Tsukamoto et al (2003) apresentam uma contribuição realizando análise econômica de um plantio de Teca (*Tectona grandis* L.f.) submetido a desbastes, implantado em área de cerrado no Estado de Mato Grosso. Sob o ponto de vista custo-benefício, pode auxiliar na tomada de decisão acerca do planejamento, da administração e do retorno financeiro do reflorestamento de teca. Assegura ainda que, normalmente, as empresas encontram dificuldades para comercialização da madeira de primeiro desbaste, que apresenta grande percentual de alburno, embora suas propriedades sejam consideradas atualmente semelhantes a cernes de madeiras de grande valor comercial. Sua utilização atual se restringe à fabricação de brinquedos ou artesanatos de modo geral.

Moreno (2004) estudou as principais propriedades físicas e mecânicas da Teca de oito anos em plantações experimentais no Valle de Sacta, em Cochabamba, na Bolívia. Observou que não se poderiam considerar os mesmos resultados encontrados

na literatura para uso da teca sem observar as idades diferentes. Concluiu que para a mesma espécie há necessidade de mais estudos para plantações acima de doze anos.

Figueiredo et al (2005) apresentam importante contribuição sobre a rotação econômica de dois plantios no Acre, um primeiro povoamento com 2.083 árvores/ha., e o segundo com 1.111 árvores/ha. Para o povoamento da área 1, encontrou o máximo incremento médio anual em volume aos 19 anos, com um volume de madeira comercial para serraria de 16,63% do volume total. Para o povoamento da área 2, o máximo incremento médio anual em volume encontrado ocorreu aos 24 anos, neste caso a madeira já está mais madura e o volume para serraria atinge 30,25% do volume total produzido.

3.1 Propriedades Físicas

3.1.1 Massa Específica

A massa específica da madeira é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos. É uma propriedade muito importante e fornece inúmeras informações sobre as características da madeira, devido a sua íntima relação com várias outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a madeira, nos diversos segmentos da atividade industrial.

Senft (1962) da Universidade de Purdue sugere uma classificação das peças por meio da densidade e do módulo de elasticidade.

Englert (1966) reitera que a qualidade da madeira sólida é quase sinônima de sua massa específica, mas ressalta que tal propriedade não deve ser considerada como único parâmetro de decisão para um determinado uso.

De acordo com Kolmann e Côté (1968) as variações da massa específica se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, em função, sobretudo, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais. A estrutura da madeira à qual se referem os autores está relacionada à espessura da parede celular e ao tamanho e à quantidade proporcional de diferentes tipos de células (fibras, traqueídeos, vasos, dutos de resina e parênquima). Nas madeiras da mesma espécie, as

variações são decorrentes, principalmente, de alterações nos componentes estruturais e químicos.

Em razão da natureza orgânica, heterogênea, porosa e higroscópica da madeira, Kollmann e Côté (1968) sustentam que a massa específica é fortemente influenciada pelo teor de umidade. A massa específica básica considera a relação entre a massa da madeira absolutamente seca e o volume verde ou saturado da peça. A massa específica aparente, por sua vez, sempre relaciona massa e volume a um determinado teor de umidade, normalmente entre 0% e 15% , com maior frequência, a 12% de umidade.

Ferreira e Kageyama (1978) verificaram um aumento proporcional da massa específica em função da idade, em várias espécies de *Eucalyptus*.

Para Hillis e Brown (1978), podem ocorrer variações extremas de tal propriedade entre árvores da mesma espécie, citando, como exemplo, a madeira de *Eucalyptus pilularis*, na Austrália, com variações de 0,59 até 0,81 g/cm³. Afirmam ainda, que tais limites para o gênero *Eucalyptus* situam-se entre 0,60 e 0,90 g/cm³ para as madeiras maduras e entre 0,40 e 0,80 g/cm³ para as madeiras mais jovens.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), Haygreen e Bowyer (1982), Lima et al (2000), a massa específica aumenta muito rapidamente na primeira fase de crescimento; mais lentamente, numa fase intermediária da idade, até se tornar constante na fase da maturidade da árvore.

Panshin e De Zeeuw (1980), afirmam que a massa específica pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e até mesmo entre diferentes partes da mesma árvore.

Chimelo (1980), Gérard et al. (1995) afirmam que, quase sempre, a massa específica se apresenta correlacionada com a retratibilidade, secagem, trabalhabilidade, impregnabilidade, durabilidade natural e várias propriedades mecânicas.

Vital (1984) atesta que os efeitos, em geral, são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente e não se consegue modificar uma propriedade sem que as demais sejam alteradas.

Bendtsen e Senft (1986), citados por Silva (2000), defendem que a massa específica pode ser explicada pelas diferenças anatômicas, devido às mudanças que ocorrem na madeira juvenil/adulta, que são mais acentuadas nas coníferas que nas

folhosas. A mudança no comprimento de fibras em folhosas é de, aproximadamente, o dobro, com alteração de 28 para 10° no ângulo fibrilar, enquanto que nas coníferas, a alteração no comprimento corresponde ao seu triplo ou quádruplo, com alteração de 55 para 20° no ângulo fibrilar. Os mesmos autores verificaram que o ângulo fibrilar é maior na região da medula ou próximo dela e diminui, rapidamente, em direção à casca, ocorrendo, paralelamente, um aumento rápido no diâmetro dos vasos; nessa região, as fibras são mais curtas, apresentam menores diâmetros e, geralmente, as paredes são mais finas.

Oliveira et al (1990) e Lima et al (2000) asseguram que a massa específica é uma boa indicadora de qualidade da madeira, em função das várias correlações com outras propriedades; entretanto, ela não indica, de forma direta e conclusiva, valores das propriedades mecânicas, dimensões de fibras, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos. Assim, a massa específica, quando analisada de forma isolada, não representa um bom e seguro parâmetro para uma definição de usos.

Segundo Tsoumis (1991), a massa específica é uma medida da quantidade de material na parede celular, presente em certo volume, e é também uma indicadora do volume de espaços vazios na madeira.

Rocco et al (2004), estudando espécies nativas apresentaram importante contribuição ajustando um modelo para a relação densidade aparente e: resistência à compressão e tração paralela as fibras; resistência ao cisalhamento; resistência convencional ao ensaio de flexão; módulo de elasticidade na compressão, na tração paralela as fibras e na flexão estática; dureza paralela e normal as fibras e tenacidade. Apresentam como um subsídio a mais para se trabalhar com os conhecimentos básicos das propriedades da madeira. O modelo propicia estimarem-se propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente.

3.1.2 Retratibilidade

A madeira é um material orgânico, de estrutura complexa e heterogênea, que se altera em suas dimensões (aumenta e diminui) de acordo com a umidade do ambiente. Essa variação no teor de umidade afeta a geometria das peças em serviço e, por consequência, as características de resistência mecânica dos elementos estruturais. Em

grande parte das madeiras, ocorre uma elevada anisotropia dimensional, tornando-se imprescindível o conhecimento dos mecanismos físicos que regem os fenômenos de retratibilidade. Tal conhecimento servirá de subsídio para a correta condução do processo de secagem e utilização final do produto, com o intuito de minimizar, ou mesmo eliminar a ocorrência de possíveis defeitos da madeira.

Segundo Kollmann e Côté (1968), a diferença entre a retratibilidade tangencial e a radial em algumas espécies pode ser explicada pela influência restritiva dos raios na direção radial e pelo arranjo helicoidal das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais. Uma das causas das propriedades anisotrópicas da madeira é a orientação das micelas, fibrilas e fibras que formam o tecido lenhoso.

Skaar (1972) comprovou que, em nível microscópico, o comportamento da madeira depende da largura dos anéis, da proporção do lenho inicial e tardio, da orientação das fibras e dos raios; em nível submicroscópico, a inclinação das microfibrilas é considerada a principal responsável pelo comportamento da madeira.

Masseran e Mariaux (1985) asseguram que o volume dos raios, a dimensão radial das fibras, bem como as diferenças químicas entre as paredes radiais e tangenciais, são responsáveis pela anisotropia da madeira.

Para Tsoumis (1991), citado por Silva (2000), a estrutura anatômica é a principal responsável para a contração e o inchamento anisotrópico.

De acordo com Durlo e Marchiori (1992), 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). Tal relação freqüentemente explica as deformações da madeira que ocorrem durante a secagem. Asseguraram que as variações dimensionais e a anisotropia são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades, exigindo, por isso, técnicas específicas de processamento e utilização.

Estabeleceram a seguinte classificação da madeira em função dos seus coeficientes de anisotropia:

- 1,2 a 1,5 - considerada excelente, ocorrendo em madeiras como cedro, sucupira, mogno, balsa, entre outras espécies;

- 1,5 a 2,0 - considerada normal, ocorrendo em madeiras como ipê, pinus, peroba rosa, teca, entre outras espécies;
- acima de 2,0 – considerada como ruim, que poderá ocorrer em madeiras de araucária, imbuia, álamo, jatobá, entre outras espécies.

Zhang (1994) observou que a contração volumétrica depende dos diferentes tecidos anatômicos da matéria lenhosa, principalmente da porcentagem de fibras e pela proporção do parênquima axial e dos vasos.

Lelles e Silva (1997) mostram que, em geral, é possível observar a contração na direção tangencial que é, aproximadamente, 1,5 a 2 vezes maior do que a ocorrida na direção radial, situação muito freqüente para a maioria das madeiras do gênero *Eucalyptus*. A utilização da madeira para produtos finais de alta estabilidade requer um fator anisotrópico baixo. Segundo os mesmos autores, 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. Quanto maiores forem os desvios nesses dois sentidos, mais alta será a anisotropia de contração e maiores serão os danos na madeira na fase de secagem.

Para Vital e Trugilho (1997), as variações dimensionais, provocadas pela contração e inchamento da madeira, ocorrem quando há flutuações na umidade da madeira a um ponto abaixo da umidade de saturação das fibras, correspondendo às alterações na quantidade de água de impregnação; acima desse ponto, as alterações se resumem, tão somente, a pequenas oscilações de peso, sem alterações nas dimensões. Consoante os mesmos autores, as variações dimensionais se devem ao ligamento ou desprendimento de moléculas de água das microfibrilas da parede celular.

Moreira (1999), em estudo com madeiras de várias espécies, averiguou que a contração radial e volumétrica aumentou no sentido medula-casca, como um reflexo do aumento da massa específica. Citando Panshin e De Zeuw (1980), assegura que contrações longitudinais e transversais variam, basicamente, de acordo com a interação da quantidade de substância madeira, com a média do ângulo microfibrilar nas paredes das células, em relação ao eixo longitudinal da célula, e com a extensão da lignificação da parede da célula. A contração, como resultado da perda de água, ocorre quase inteiramente entre as microfibrilas, nos vazios existentes dentro da parede da célula. O reforço das microfibrilas deforma a matriz contraída e produz alterações desiguais no

comprimento e na espessura da parede das células, causando mudanças dimensionais laterais consideráveis e pequenas mudanças longitudinais na madeira, onde os ângulos das microfibrilas são pequenos. Quando tais ângulos são grandes, o componente de contração longitudinal aumenta e o componente de contração transversal na parede da célula diminui.

Klock (2000) sustenta que a pequena alteração nas dimensões no sentido longitudinal, em relação às demais dimensões, se deve à organização vertical da maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira, o que faz com que o número de paredes por centímetro quadrado seja bem menor nesse sentido.

O fator anisotrópico, tomado de forma isolada, todavia, não caracteriza uma madeira como sendo estável, causando, ao contrário, uma falsa sensação de estabilidade. Coeficientes de anisotropia de contração baixos, oriundos de contrações tangencial e radial elevadas, revelam uma madeira com alta instabilidade dimensional (ROCHA, 2000). Um exemplo típico é o caso da madeira de *Eucalyptus grandis*, que pode apresentar um coeficiente de anisotropia muito baixo e até mesmo inferior a espécies reconhecidamente muito estáveis, como o mogno e o cedro, mas de reconhecida instabilidade dimensional. Inúmeros pesquisadores procuraram a explicação da anisotropia da madeira, através de sua estrutura anatômica. Consideraram que a contração e a expansão diferenciadas nas diferentes direções de crescimento são atribuídas, principalmente, à estrutura da parede celular e, em parte, à presença dos raios que dificultam a variação no sentido radial.

Rocha (2000), Tsoumis (1991), Vital e Trugilho (1997), mostram que a magnitude da variação dimensional é normalmente maior para madeiras de maior massa específica, por causa da maior quantidade de madeira por unidade de volume observado; além disso, madeiras de maior massa específica, para um mesmo teor de umidade, contêm mais água na parede celular.

3.2 Propriedades Mecânicas da Madeira

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros de grande relevância na caracterização tecnológica da madeira; ambos

forneem uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de vasta aplicação na classificação dos materiais.

Como material anisotrópico, a madeira possui propriedades mecânicas únicas e independentes nas direções dos três eixos ortogonais. As suas propriedades, portanto, variam com a direção da carga em relação aos seus três eixos.

Segundo a Forest Products Laboratory (1974), consoante a Kollmann e Côté (1968), as propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores diversos, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, fadiga, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, duração da tensão e da deformação, radiação nuclear, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos. Tal número de variáveis permite concluir que a madeira é um material de comportamento extremamente complexo.

Chimelo (1980), procurando relacionar as propriedades mecânicas e a massa específica, constatou um alto nível de associação estatística entre a massa específica e as propriedades de resistência à flexão estática, como o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade.

Della Lucia e Vital (1983), ao investigarem o comportamento de *Eucalyptus saligna*, com quarenta anos de idade, detectaram um módulo de elasticidade maior na madeira do cerne, em relação ao alburno.

Conforme Tsoumis (1991), a massa específica, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) são consideradas os mais importantes parâmetros físicos e mecânicos para a madeira sólida. Os seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo as constituições morfológicas, anatômicas e químicas da madeira.

Matos (1997), citando vários pesquisadores, reitera que um corpo sólido sofre certa deformação quando está sujeito a uma determinada carga; ao se remover tal carga, e caso o esforço aplicado não exceda o limite elástico, o corpo tende a retornar à forma e posição originais. Dentro de certo limite de esforços, os corpos sólidos manifestam as suas propriedades e, além do limite proporcional, as deformações sofridas pelo material serão irreversíveis; numa situação extrema, poderá haver a sua completa ruptura. Para esse mesmo autor, o módulo de elasticidade (MOE) ou módulo de Young mede a rigidez dos materiais e expressa o esforço hipotético onde um corpo de um centímetro

quadrado de área transversal pode ser estendido ao dobro do comprimento original. Na realidade, o valor real do módulo de elasticidade (MOE) é impossível de ser atingido, pois nunca se conseguirá uma deformação da grandeza do comprimento do próprio corpo; por certo, antes que tal situação aconteça, ocorrerá a ruptura do material. A rigidez da madeira é uma medida de sua aptidão em resistir à deformação imposta pela carga e é expressa, numericamente, em testes de flexão estática, através do módulo de elasticidade, utilizando-se peças de seção retangular, com dois apoios e um ponto de aplicação da carga. Reitera que a resistência de uma peça de madeira submetida à flexão é expressa em termos de esforços por unidade de área, através do módulo de ruptura (MOR), representando o máximo esforço que é aplicado sobre as fibras nos extremos superiores e inferior da seção transversal da peça.

Moreira (1999) revela que a fibra é considerada a fonte de elasticidade e de resistência da madeira; por outro lado, a sua estrutura tubular e a sua constituição polimérica são responsáveis pela maioria das propriedades físicas e químicas. Reitera que as propriedades mecânicas apresentam uma associação significativa com muitas das características anatômicas, em especial aquelas que dizem respeito às fibras e vasos. Segundo o mesmo, as dimensões da fibra e os raios lenhosos explicam parcialmente a variabilidade da rigidez entre as madeiras.

Klock (2000) defende que, embora o módulo de elasticidade não ofereça informações completas e reais sobre o comportamento de um determinado material, pode-se concluir que valores altos de MOE indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, qualificando-o para fins construtivos.

Para Raymond (2000), as propriedades de resistência e estabilidade dimensional são extremamente importantes na qualificação da madeira para fabricação de móveis. Tais propriedades são realçadas nos componentes estruturais, destacando-se a importância do MOE e do MOR, observando-se valores mais elevados em madeiras de lenho adulto e de maior idade.

Ashley e Ozarska (2000) afirmam que o desenho dos móveis deve basear-se nas características técnicas da madeira utilizada e as dimensões de cada componente, por sua vez, devem estar adaptadas à resistência da madeira em questão e ao tipo de carga que o móvel deverá suportar em serviço. Ressaltaram também a importância da massa específica e do MOE e MOR na utilização da madeira para fabricação de móveis.

3.3 Anatomia da Madeira

Os estudos anatômicos possibilitam a identificação das espécies e, mais do que isso, informações sobre a estrutura do lenho, permitindo reconhecer as relações entre o lenho e as características gerais da madeira, sobretudo nos aspectos referentes à resistência mecânica, permeabilidade, resistência natural e trabalhabilidade.

A madeira é o resultado de todo o processo de desenvolvimento celular (divisão, diferenciação e maturação) das plantas arbóreas, sendo considerada o xilema secundário da árvore, segundo alega Marcati (1992). Como resultado do câmbio, numerosos fatores, tanto internos quanto externos à árvore, conduzem a variações quanto ao tipo, número, tamanho, forma, estrutura física e composição química dos elementos. A sua estrutura é caracterizada pelo arranjo e pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial e raios, influenciando significativamente as diversas propriedades da madeira.

Dadswell (1960), Knigge e Koltzenburg (1965), constataram que o comprimento das fibras e traqueídeos, dos elementos de vasos e das células do parênquima axial são diretamente influenciados pelas divisões das células iniciais fusiformes no câmbio; essas células originam os elementos dispostos no sentido longitudinal e as células radiais, por sua vez, originam os elementos dispostos no sentido radial (raios). O seu processo de desenvolvimento envolve cinco etapas: a) divisão celular; b) diferenciação; c) crescimento em área; d) espessamento da parede; e) lignificação. As etapas de desenvolvimento mencionadas, segundo Morey (1981), definem o comprimento, a largura, o diâmetro do lume e a espessura da parede das células.

Ranatunga (1964), pesquisando a madeira de *Eucalyptus grandis*, comprovou que o comprimento de fibra aumentou com a idade, atingindo um valor constante, próximo dos oito a nove anos.

Mazzei e Overbeck (1966) avaliaram as dimensões das fibras de *Eucalyptus saligna*, com idades variando de cinco a vinte anos, e verificaram que as fibras aumentaram em comprimento até o décimo ano, seguindo-se uma estabilização que foi considerada como limite de madeira juvenil/adulta.

Hans e Burley (1972), ao estudar a madeira de diversas espécies de eucalipto, perceberam uma variação crescente no comprimento das fibras, no sentido medula-casca, até atingir um valor constante, a partir dos nove a dez anos de idade.

Hillis (1978) observou uma grande variabilidade entre as espécies até que elas alcançassem os máximos valores de comprimento de fibras e citou a madeira de *Eucalyptus pilularis*, que, somente após trinta anos de idade, apresentou o máximo valor para o comprimento de fibra. Para o *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus regnans*, os valores máximos foram obtidos após vinte e dez anos, respectivamente. Para esse autor, tais diferenças são mais acentuadas entre madeiras da mesma espécie, porém de diferentes idades, do que entre madeiras de mesma idade, mas de diferentes espécies. Afirmou que a parede celular da fibra pode variar entre espécies, entre lenho inicial e tardio, bem como entre madeira normal e de tração. Para ele, tal parâmetro está muito relacionado com a resistência da madeira e com as propriedades de usinagem.

Sardinha (1979), em sua pesquisa sobre a madeira de *Eucalyptus saligna*, com idade de vinte e cinco anos, encontrou um modelo de variação radial, no qual os maiores acréscimos no comprimento, diâmetro e espessura da parede das fibras ocorreram nos anos iniciais de vida, seguindo-se de uma gradual redução e estabilização aos oito a nove anos de idade.

Conforme Panshin e De Zeeuw (1980) e Tsoumis (1991), a variação do comprimento das células reflete duas fases: a) uma fase inicial, conhecida como período juvenil, próximo à medula, em que ocorrem mudanças fundamentais na composição da parede, associadas ao período de maturação cambial, no qual ocorre um rápido aumento no comprimento da célula; b) uma segunda fase, em que o câmbio já se encontra maduro, produzindo células cujo comprimento pode variar intensamente nos anéis de crescimento adjacentes e, por conseguinte, resulta numa maior estabilidade. A variação nas dimensões das células é também influenciada pela idade da árvore. Afirmaram que, no sentido medula-casca, ocorre um aumento do diâmetro dos elementos de vasos e uma redução da sua frequência ao longo dos anéis sucessivos de crescimento, tendendo à estabilização dos seus valores na madeira adulta. Tal fato foi confirmado por Tomazello Filho (1985b), utilizando madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, e Wilkes (1988), utilizando várias espécies de eucalipto

Morey (1981) assegurou que a causa do alongamento da fibra durante a fase de diferenciação se deve à interação do potencial genético da célula e à sequência das mudanças fisiológicas, encontradas nas proximidades do câmbio, em função dos fatores ambientais.

Segundo Tomazello Filho (1985), Andrade (1987) e Wilkes (1988), as células cambiais passam a produzir, durante certo tempo, elementos com maiores dimensões, até atingir a sua estabilização, em idades mais avançadas, ao longo do raio. Em função disso, há um aumento no comprimento das fibras, no sentido medula-casca, com o aumento da idade. Logo, as fibras localizadas nas camadas de crescimento, mais próximas da medula e a um dado nível do tronco, apresentam menores dimensões do que aquelas localizadas nas camadas finais de crescimento, mais próximas à casca. Tal fato foi constatado por Dadswell (1960), Knigge e Koltzenburg (1965), Gonzaga et al (1983), Camargo et al (1987), D'Almeida (1988), Tomazello Filho (1985b e 1988), Wilkes (1988), Bhat et al (1990), Shimoyana (1990), Trugilho et al (1996), OLIVEIRA (1997), ao estudarem madeiras de eucalipto, segundo Silva (2000).

Tomazello Filho (1985b) afirmou que, regra geral, o modelo de variação no sentido radial das árvores de eucalipto, com idades de um a vinte e cinco anos, é caracterizada pelo aumento das dimensões das fibras, nos primeiros anos e, após esse período, atinge uma estabilização em torno do oitavo ao décimo anel de crescimento. Ele sustenta ainda que as fibras de *Eucalyptus grandis* são tipicamente libriformes e fibrotraqueídeos, com predominância de fibras curtas, estreitas e com espessura da parede média.

Zobel e Bujtenen (1989) afirmaram que as características morfológicas das fibras variam significativamente dentro das árvores e podem ser controladas geneticamente, bem como apresentar alterações, em função de diferentes práticas silviculturais e da alteração da idade de corte.

Ohbayashi e Shiokura (1989) verificaram que, em *Eucalyptus saligna*, o comprimento das fibras aumentou rapidamente na seção radial, no sentido medula-casca, nos primeiros anos, atingindo praticamente o dobro do comprimento ao final da seção, independente do diâmetro das árvores.

Segundo Shimoyama (1990) a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais, além do crescimento sazonal. Na primavera e verão, por

exemplo, a árvore produz maior quantidade de hormônios, acarretando maiores aumentos na largura das células. Hormônios específicos agem no arranjo das fibrilas, ora afrouxando-as, através de um aumento do ângulo fibrilar e aumento do diâmetro da fibra, ora concentrando-as, através da diminuição do ângulo fibrilar, acarretando uma diminuição da largura das fibras.

Shimoyama (1990) e Ruy (1998) asseguram que os carboidratos que são depositados na parede da fibra possuem alto grau de polimerização e alto peso molecular, podendo tornar a madeira mais densa. A autora citou inúmeros pesquisadores que encontraram relações positivas entre a massa específica e a espessura da parede das fibras, chegando mesmo a concluir que a massa específica pode dar indicações da espessura da parede da fibra.

Moreira (1999) sustenta que o lenho das árvores é constituído por diferentes tipos de células. As folhosas formam um grupo especial e apresentam uma grande variação em termos de tipos e arranjos celulares. A proporção de fibras e o seu comprimento são as características de maior interesse tecnológico. O comprimento das fibras é diretamente influenciado pelas divisões longitudinais - tangenciais no câmbio, como resultado da taxa de hormônios da árvore, que pode variar com a sazonalidade, condições ambientais, fatores genéticos e idade da árvore.

3.4 Propriedade Química da Madeira

O conhecimento da natureza química da madeira possibilita ao usuário o entendimento de seu comportamento como matéria-prima para diversos usos, Oliveira (1997). A madeira é um material orgânico e os seus constituintes químicos estão diretamente relacionados com as suas propriedades. Os extrativos, também de reconhecida importância em várias situações, atuam como componentes complementares e apresentam grande variabilidade em sua quantidade e constituição.

Hillis (1962), Bamber e Humphreys (1963) afirmam que a quantidade de extrativos polifenólicos é menor no alburno, implicando numa menor durabilidade e pouca coloração da madeira em relação ao cerne; verificaram, ainda, um aumento quantitativo desses compostos da medula para a parte mais externa do cerne, com mudanças de conteúdo abruptas na periferia do cerne. Os extrativos são encontrados,

quase sempre, no parênquima, mas podem aparecer nos vasos e nas fibras e, em alguns casos, em células especializadas. A presença de extrativos na madeira pode comprometer a sua utilização em diversas situações.

De acordo com Choong (1969), a lignina e os extrativos se incrustam em torno das fibrilas de celulose, diminuindo fortemente os espaços para a água, pois um elevado teor de moléculas fenólicas diminui a amplitude de contração da madeira. Os extrativos, embora em menor percentual em relação aos demais componentes, fazem o diferencial e tornam-se a característica principal da madeira.

Segundo Bland (1971), a lignina, que se encontra presente na lamela média, cimenta as fibras, unindo-as umas às outras e a sua função na árvore é dar rigidez ao caule e conferir durabilidade à madeira. A quantidade de lignina presente na madeira apresenta uma correlação positiva com a recuperação da contração volumétrica.

Winandy e Rowel (1984) verificaram que a estabilidade da madeira se deve à habilidade da lignina limitar o acesso de água no carboidrato, diminuindo a sua influência sobre a estrutura das pontes de hidrogênio.

Segundo Chafe (1987), a durabilidade da madeira é atribuída à presença de extrativos de poder fungicida e inseticida em sua composição. Nos processos químicos de polpação, os teores elevados de extrativos na madeira dificultam a impregnação da madeira e favorecem a condensação da lignina, dificultando a solubilidade e reduzindo, conseqüentemente, o rendimento em polpa; alguns de seus constituintes podem, ainda, formar complexos com metais, levando à formação de incrustações nos trocadores de calor e evaporadores, diminuindo-lhes a eficiência.

Segundo Bodini (2000), os componentes fundamentais de uma madeira são: a celulose, hemiceluloses e lignina além de constituintes acidentais; extrativos e cinzas.

Nas coníferas, o cerne, geralmente, contém mais extrativo e menos celulose e lignina que o alburno; nas folhosas, no entanto, tais diferenças entre o cerne e o alburno das madeiras são quase inexistentes. O alburno, geralmente, apresenta açúcares e outros constituintes solúveis na seiva e materiais de reserva, como amido e gorduras; o cerne, por sua vez, apresenta grande concentração de materiais fenólicos. Segundo Raymond (2000), citado por Silva (2002), os teores de holocelulose e extrativos aumentam com a idade, ocorrendo o inverso para os teores de lignina. Diversos outros autores encontraram o inverso, quando os teores de lignina e extrativos apresentaram uma correlação direta com a idade e inversa com holocelulose.

As ligninas presentes na parede celular das plantas estão sempre associadas com as hemiceluloses, não só através da interação física como também através de ligações covalentes formando complexos lignina-polissacarídeos, de acordo com Bodini (2000), citando Smelstorious.

Todas as espécies de madeira contêm além da celulose, das hemiceluloses e da lignina, quantidade variável de outras substâncias usualmente citadas como constituintes acidentais.

Estes constituintes acidentais incluem os mais diversos compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que nenhuma espécie de planta contém todos os componentes possíveis, ou mesmo todas as diferentes classes de compostos. A presença relativa destes constituintes é governada por uma série de fatores, entre, os quais merecem maiores destaque os de significado genético e ecológico.

Os constituintes acidentais não pertencem à parede celular, e, dividem-se, basicamente em duas classes. A primeira classe engloba materiais conhecidos como extrativos por serem extraíveis em água, solventes orgânicos neutros, ou volatilizados a vapor. A segunda classe engloba compostos inorgânicos, proteínas e substâncias pécnicas.

Esses constituintes acidentais são freqüentemente responsáveis por determinadas características da planta, como: cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas. Sua composição e quantidade relativa dependem de diversos fatores como espécie, idade da planta e região de ocorrência. Aproximadamente, de 3 a 10% da madeira seca é constituída de extrativos, sendo que, geralmente, para as madeiras de coníferas, esse teor fica na faixa de 5% a 8% e para folhosas, na faixa de 2% a 4%.

As madeiras de folhosas diferenciam-se das madeiras de coníferas em teor e natureza das hemiceluloses e ligninas. Em geral, as madeiras de folhosas, contêm maior teor de hemiceluloses (24% a 34% em base a peso seco) e menor teor de lignina (16% a 24%), embora as madeiras de folhosas tropicais possam ter de 25% a 33% de lignina.

Nesta linha de investigação para a espécie *Tectona grandis*, não existem trabalhos com conhecimentos das principais propriedades do seu tecido lenhoso. Foram

encontradas significativas contribuições sobre a espécie na parte silvicultural e na valoração econômica para implantação de povoamentos florestais.

CAPÍTULO 4

4 MATERIAL E MÉTODO

Para a determinação das propriedades da madeira de Teca, estabeleceram-se as seguintes etapas: coleta do material no campo; identificação dos talhões de plantio da espécie; preparo dos corpos-de-prova; ensaios de caracterização do material para determinação das propriedades físicas (massa específica básica, massa específica aparente, retratibilidade volumétrica e anisotropia), propriedades anatômicas, propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e módulo de ruptura na compressão paralela, resistência a flexão estática, resistência ao cisalhamento, resistência a tração paralela) e teor de lignina.

O material necessário para a identificação e confecção dos corpos-de-prova foi coletado de toras, com no mínimo de 15 cm de diâmetro, preferencialmente na altura do DAP (a 1,30 cm. da base da árvore). A coleta em ordem de preferência, foi realizada nas áreas de exploração florestal das indústrias madeireiras, Floresteca, localizada no município de Jangada e Cáceres Florestal no município de Cáceres, ambas certificadas para exploração florestal no Estado de Mato Grosso.

Tanto a madeira para confecção dos corpos-de-prova como o material destinado à realização da identificação dendrológica foram acondicionados em sacos plásticos para evitar a perda de umidade até o seu encaminhamento, respectivamente, ao GIEM – Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira do Departamento de Engenharia Civil e ao Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Santa Catarina, aos Laboratórios de Tecnologia da Madeira e de Dendrologia da Madeira da Faculdade de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Mato Grosso.

4.1 Descrição do Local

As áreas de estudo situam-se nos municípios de Jangada e Cáceres, os quais se encontram inseridos na Bacia do Alto Paraguai, localizada num raio de 250 km ao

Noroeste de Cuiabá-MT. Estes municípios fazem parte da baixada cuiabana na transição do cerrado para o pantanal mato-grossense.

4.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi o DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado), no qual foram selecionadas nove árvores, provenientes de plantios comerciais sendo três por idade (5 anos, 10 anos e 30 anos). Foi conduzido para atender o mesmo número de repetições para todos os tratamentos. Aproveitou-se de cada árvore uma tora com o comprimento de três metros. De cada tora foram extraídas peças, com dimensões nominais de 6,0 cm x 6,0 cm x 150 cm, e utilizadas para a retirada dos corpos-de-prova para os experimentos de propriedades físicas e mecânicas. De cada peça foram extraídos os corpos-de-prova para cada tipo de ensaio. Assim, de cada idade foram preparados 12 corpos-de-prova para cada tipo de ensaio, o que corresponde à amostragem, segundo a NBR 7190/97, suficiente para caracterizar um lote homogêneo de madeira. Seguiram-se algumas prescrições básicas tais como: não ser proveniente dos extremos da tora e isenta de qualquer tipo de defeitos (nós e rachaduras de topo).

A escolha das árvores foi procedida considerando as limitações dos diâmetros das madeiras de cinco anos e dez anos e que atendesse as especificações da NBR7190/96, para ensaios físicos e mecânicos. Fora planejado e executado de tal forma a se obter um melhor aproveitamento das toras com suas peculiaridades de dimensões. Essa consideração foi de fundamental importância por se definir a metodologia de campo para corte e seleção de árvores jovens.

4.3 Procedimentos de Campo

O procedimento de escolha das árvores, além de atender à norma para ensaios físicos e mecânicos, obedeceu aos critérios de manejo para desbaste e comercialização adotados pela empresa. Dentre elas, escolheram-se aquelas que apresentaram maior homogeneidade em termos de diâmetro, altura e ausência de defeitos (excessiva conicidade, bifurcação e rachaduras no tronco).

Após o cumprimento desses critérios, preparou-se a árvore para a sua derrubada onde inicialmente realizou-se a sua marcação (Figura 40, em anexo) e, em seguida, a

preparação para o corte. Tratou-se de um procedimento de seccionar a região da casca (anelamento) para provocar a perda de umidade lentamente até que a madeira secasse no próprio pé. Essa forma propicia melhor aproveitamento evitando maior intensidade de rachaduras e empenamentos.

Com o corte das árvores, as toras e os discos foram imediatamente identificados através de suas respectivas dimensões e posteriormente transportados para o pátio da serraria da madeireira. Em seguida, passou-se pela fase de desdobro e preparação dos corpos-de-prova.

4.4 Esquema Proposto

Para as toras de diâmetros de 15 cm, retira-se uma vigota de 6 cm por 12 cm, correspondendo a árvores de 5 anos de idade. Para árvores com diâmetro entre 15 cm e 20 cm retiram-se 2 vigotas de 6 cm por 12 cm para árvores de 10 anos de idade. Diâmetros de até 25 cm, 3 vigotas correspondentes a idades de 15 anos até 25 anos. Diâmetros de 30 cm, 6 vigotas de 6 cm por 12 cm.

Adotou-se o esquema de retirada dos corpos-de-prova como demonstrado nas Figuras 11 e 12 a seguir.

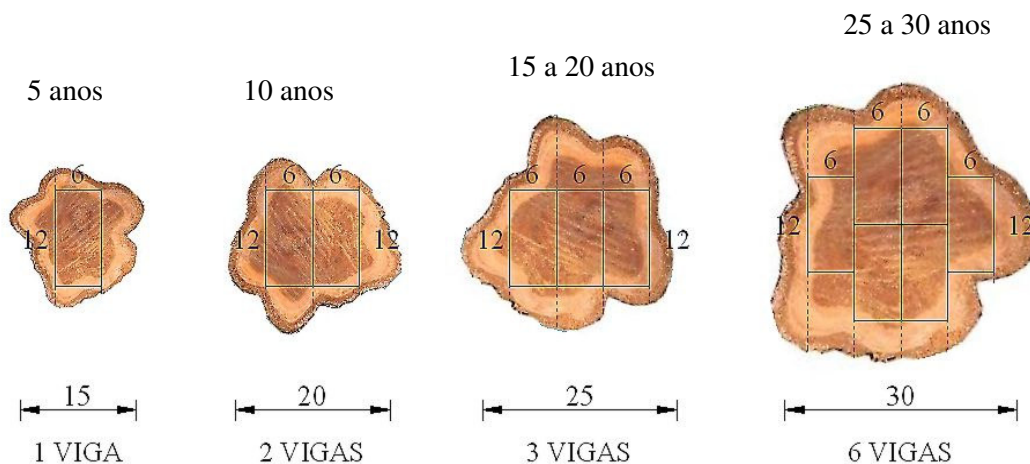
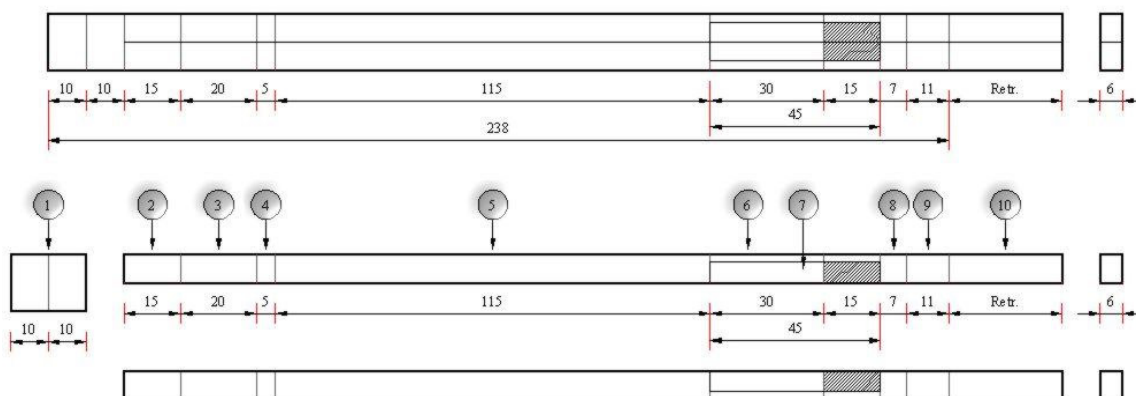


Figura 11 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova em função do diâmetro

A atual NBR 7190/97 recomenda que os corpos de prova devam ser isentos de defeitos e retirados de regiões afastados das extremidades das peças de pelo menos 5 vezes a menor dimensão da peça considerada, mas nunca menor que 30 cm.

No caso do esquema apresentado na Figura 12, já se encontra livre dos extremos recomendados.



1- Compressão normal
4 –Tenacidade
7 – Cisalhamento
10- Retratabilidade

2 - Compressão Paralela
5- Fendilhamento
8 - Tração Paralela

3 - Flexão
6 - Dureza
9- Tração normal

Figura 12 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova na viga

4.4.1 Aspectos Normativos

Foram utilizados os métodos de ensaios descritos na atual NBR 7190/97 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1997), apresentados sucintamente a seguir para propriedades físicas e mecânicas. A utilização segue a mesma notação da NBR 7190/97, praticamente transcrevendo-a, incluindo, sempre que necessárias notas esclarecedoras ou complementares. O teor de lignina foi determinado de acordo com as normas M3/69, M6/68 e M4/68 da ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – ATBCP (1974).

Para determinação das propriedades anatômicas foi utilizada a notação descrita na Norma de Procedimentos em Estudos da Anatomia de Madeira: CE. 01.07: 001

ABNT e COMISSÃO PANAMAERICANA DE NORMAS TÉCNICAS-COPANT (1974).

Os testes e as respectivas normas utilizadas no presente estudo estão sumarizados no Quadro (6).

Quadro 6 - Ensaio e Normas para da madeira de *Tectona grandis* de diferentes idades.

ENSAIO	SEÇÃO DE ORIGEM DA ARVORE	NORMA
Propriedades Físicas	Viga longitudinal	NBR 7190/97
Propriedades Mecânicas	Viga longitudinal	NBR 7190/97
Propriedades Anatômicas	Discos	ABNT, COPANT, 1994
Teor de lignina	Discos	ABTCP M-10/7

4.4.2 Procedimentos de Laboratório

Os procedimentos de laboratório para os ensaios das propriedades físicas e mecânicas foram de acordo com o anexo B da NBR 7190/97, com a amostragem para caracterização representativa de espécie pouco conhecida.

Os procedimentos para retirada dos corpos-de-prova ocorreram conforme os esquemas representativos das Figuras 11 e 12.

4.4.2.1 Propriedades Físicas

1. Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade, utilizaram-se corpos-de-prova retirados de peças originárias do tronco das árvores conforme determina NBR 7190/97. O teor de umidade da madeira corresponde à relação entre a massa de água nela contida e a massa da madeira seca em %. A massa inicial (m) do corpo-de-prova foi registrada com exatidão de 0,01g. Posteriormente foram levadas à estufa com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm$

2°C, para determinação da massa seca. É importante salientar que na confecção dos corpos-de-prova foram utilizadas ferramentas bem afiadas, evitando assim a “queima” das faces, que poderia provocar uma perda de água imediata, prejudicial à determinação da real umidade da amostra.

2. Densidade básica e aparente

A densidade básica é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, sendo a massa seca em kg e o volume em m³. A densidade aparente é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume com teor de umidade de 12%. Para determinação da densidade, foram utilizados corpos-de-prova conforme a determinação NBR 7190/97. A massa inicial (m) do corpo-de-prova foi registrada com exatidão de 0,01g. Após essa etapa, foram levadas à estufa com temperatura de 103°C ± 2°C, para estabelecer a massa seca.

Foram empregados na confecção dos corpos-de-prova equipamentos como: serra elétrica, plaina e serra de guilhotina;

Foram tomadas três medidas de cada face dos corpos-de-prova através de um paquímetro digital com sensibilidade de 0,01 mm e, posteriormente, efetuada a média aritmética desses lados.

A massa inicial foi determinada por meio de uma balança digital de sensibilidade 0,01 grama;

Depois da determinação da massa inicial, corpos-de-prova foram colocados em uma estufa na temperatura de 103°C ± 2°C.

Após 6 horas na estufa, os corpos-de-prova foram retirados e submetidos a uma nova pesagem. Tomou-se o cuidado de retirá-los envolvidos em um saco plástico a fim de evitar a absorção de água durante o trajeto até a balança, o que acarretaria a alteração dos resultados. Verificou-se que a variação de massa foi superior a 0,5% da última massa medida; então, os corpos de prova foram recolocados na estufa.

Passadas 6 horas, novamente os corpos-de-prova foram retirados e pesados, verificando-se assim a chamada constância de massa, em que se atinge uma variação de massa menor do que 0,5% da última massa medida. Desse modo, pôde-se admitir que a massa em questão era a massa seca (m_s).

Conhecida a massa seca (m_s) dos corpos-de-prova, foi determinada a umidade à base seca pela expressão definida pela NBR 7190/97, itens B. 5.2.

3. Estabilidade dimensional (retratibilidade; fator anisotrópico).

A estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas propriedades de retração e inchamento, levando-se em conta três direções preferenciais 1, 2 e 3, correspondentes às direções axial, radial e tangencial respectivamente. As deformações especificam as retrações e inchamentos considerados como índice de estabilidade dimensional e são determinadas para cada uma das direções preferenciais, em função das dimensões da madeira saturada e seca. Foram confeccionados corpos-de-prova 2 cm x 3 cm x 5 cm retirados de peças originárias do tronco das árvores, conforme esquema da Figura 12. Foram tomadas medidas nos três sentidos, quais sejam radial, tangenciais e axiais, de cada face dos corpos-de-prova por meio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Posteriormente, imerso em recipiente com água até obtenção do ponto de saturação com medições de variação de 0,02 mm com a última medida consecutiva. Para isso, as medidas foram retiradas a cada 6 horas até a obtenção de sua estabilização. Conhecido o seu volume saturado, determinaram-se as deformações nas três direções pelas expressões definidas pela NBR 7190/97, item B. 7. 2.

As tomadas de medidas de retração seguiram-se da mesma forma, empregando-se os mesmos corpos-de-prova. Feitas as medições saturadas, estes foram climatizados e posteriormente colocados em estufa para secagem na temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A cada 6 horas os corpos-de-prova foram retirados e submetidos a uma nova medição até atingirem a estabilização das medidas nas três direções com precisão em que a variação se estabilizou em torno de 0,02 mm, diferença entre duas medidas sucessivas.

Conhecido o seu volume seco determinaram-se as deformações de retração nas três direções pelas expressões definidas pela NBR 7190; 1997 itens B. 7. 2.

4.4.2.2 Propriedades Mecânicas

1. Compressão paralela às fibras

A determinação da resistência à compressão (f_{c0}) e o módulo de elasticidade na compressão (E_{c0}) é obtida através do ensaio de compressão paralela às fibras. Foram confeccionados corpos-de-prova 5 cm x 5 cm x 15 cm de acordo com a norma NBR 7190:1997. As retiradas dos corpos-de-prova foram das peças originárias do tronco das árvores como apresentado no esquema na Figura 12. Na preparação dos corpos-de-

prova, levou-se em consideração a segurança operacional com utilização de equipamentos adequados como a destopadeira de mesa e pessoas habilitadas para execução dos cortes e aparelhamentos das peças. Os corpos-de-prova, após o desdobro, foram organizados, identificados e levados para climatização de modo a atingir a umidade de equilíbrio ideal para realização dos testes de laboratório. Na sala de climatização, eles foram submetidos a uma temperatura de 22° C, à umidade relativa de 30% e monitorados através de estimadores até atingirem umidade abaixo de 20% em intervalo até 12%. Os ensaios foram realizados com a utilização de medidores eletrônicos e da máquina universal Amsler com capacidade de 200 kN. Para determinação dos valores característicos foram utilizadas equações da NBR 7190 / 97.

2. Tração paralela às fibras

A resistência à tração paralela às fibras é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo-de-prova padrão. Os corpos-de-prova foram retirados das peças de acordo com esquema apresentado na Figura 12. Para a determinação da resistência à tração (f_{t0}), aplicaram-se os mesmos critérios anteriores com a obtenção da resistência com base na NBR 7190:1997.

3. Cisalhamento

A resistência ao cisalhamento paralela as fibra (f_{v0}) é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção de um corpo-de-prova prismático. Para a determinação da resistência, fora utilizado o mesmo procedimento dos demais ensaios mecânicos. O arranjo para a determinação da resistência obedeceu a NBR 7190:1997.

4. Flexão

A resistência da madeira à flexão é um valor convencional fornecido pela máxima tensão que pode atuar no corpo-de-prova num ensaio de flexão simples, com a hipótese de a madeira ser um material elástico. Os corpos-de-prova foram confeccionados em forma prismática com seção transversal quadrada de 5 cm de lado e comprimento paralelo as fibras de 115 cm de acordo com o esquema da Figura 12. Para

determinação dos valores característicos foram utilizadas planilhas de ensaios, em que os resultados alcançados apresentam-se com valores para resistência à flexão.

Os procedimentos para a determinação da resistência obedeceram a NBR 7190:1997.

4.4.2.3 Características Anatômicas

A análise anatômica foi realizada utilizando-se três discos por árvore, localizados na base e no final da primeira e segunda tora. De cada disco, retirou-se uma peça (fatia) de 2,0 cm, ao longo da seção. De cada peça foram removidas amostras de dimensões 1,0 x 1,0 x 1,0 cm, tomadas de pontos equidistantes da seção do disco. Finalmente, de uma parte de cada amostra, foram colhidos fragmentos e colocados em tubos de ensaio, com solução 1:1 de ácido acético glacial e água oxigenada ou peróxido de hidrogênio. A mistura foi deixada em estufa, à temperatura de 60°C, por um período de quarenta e oito horas, até que os fragmentos atingissem uma coloração branca. Após a maceração, a mistura foi filtrada em cadinho, de porosidade média, lavando-a com água, à temperatura ambiente. Feita a individualização das fibras, as lâminas foram montadas e coradas com safranina. Mediram-se trinta fibras, individualmente, determinando o comprimento, largura e diâmetro do lume. Para a medição do comprimento, utilizou-se microscópio projetor de fibras; já para as medições de largura e diâmetro do lume, um microscópio ótico comum, com o auxílio de uma ocular micrométrica. A espessura da parede celular foi obtida através de cálculo matemático, relacionado à metade da diferença entre a largura e o diâmetro do lume. Na estrutura anatômica do material analisado, para todas as idades, foram fotografadas lâminas, observando os parâmetros determinados.

Procedeu-se a captura de imagens através de uma câmara CCD, visualizando-se, em tempo real, a imagem no microcomputador.

4.4.2.4 Propriedades Organolépticas

A determinação do percentual de alborno e cerne teve a finalidade de avaliar o incremento diamétrico entre as idades. Para os experimentos foram selecionados discos

do mesmo tronco onde foram tomadas três medidas de cada face dos discos através de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm e, posteriormente, realizada a média aritmética dessas faces.

4.4.2.5 Propriedade Química

A determinação da propriedade química fora feita através da coleta de três discos retirados da base e das extremidades das toras investigadas. A variação da lignina entre as idades foi o objetivo deste experimento. Para o procedimento foi adotada a norma ABCP 10-71. De cada disco retirou-se uma cunha, correspondendo, aproximadamente, a 1/8 da seção do disco e, posteriormente, converteu o material em cavacos, utilizando-se o moinho laboratorial Wiley, transformando em serragem e em seguida peneirados em malha 40 com retenção em malha 60. Em seguida determinou-se o teor de umidade da serragem aquecendo primeiramente a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, esfriando em dessecador e pesando com precisão de 0,0001 g. Pesaram-se duas amostras da serragem sendo aproximadamente 2 g de cada amostra com precisão de 0,0001 g. Posteriormente foi feita a secagem em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 4 horas transferindo em seguida para o dessecador para esfriar até a temperatura ambiente. Repetiu-se esta operação até atingir o peso constante para se poder determinar a umidade. Em seguida determinou-se o teor da lignina, em ácido sulfúrico a 72%.

O teor de lignina foi determinado com a avaliação da variação da massa, de uma quantidade, inicial, equivalente a $(1,0 \pm 0,1)$ g de madeira, que foi tratada com 15 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4 72%), durante uma hora e trinta minutos, a uma temperatura de $(15 \pm 2)^\circ\text{C}$. Após esta fase, o material foi transferido para um balão volumétrico contendo 560 ml de água destilada, ficando em ebulição, durante quatro horas. Em seguida, o material foi lavado e filtrado, com 500 ml de água destilado quente, e seco em estufa, a temperatura de $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$, durante duas horas. A equação abaixo foi utilizada para esta determinação.

$$\%L = \frac{m_f}{m_{i,c}} \cdot 100 \quad ,$$

Onde: %L = percentual de lignina;

CAPÍTULO 5

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos passaram por uma análise estatística considerando três tratamentos, respectivamente para as idades 5, 10 e 30 anos. Para analisar a variabilidade presente nos três tratamentos, utilizou-se o teste de Bartlett, usado quando o número de repetições for igual para todos os tratamentos. Utilizando o programa MINITAB V13 observou-se que as variáveis f_{c0} (resistência à compressão paralela), E_{c0} (módulo de elasticidade na compressão paralela), f_{t0} (resistência a tração paralela) e CFb (comprimento de fibra) apresentaram diferenças enquanto variabilidade. Logo, foi necessário fazer a transformação raiz quadrada para as variáveis f_{c0} , f_{t0} ; para as outras considerou a transformação logarítmica, com isto conseguiu-se homogeneizar os dados. Essa transformação foi necessária, devido ao fato da madeira possuir características heterogêneas e pelo número de corpos-de-prova previsto pela norma. É necessário que haja uma aproximação razoável dos dados, Pimentel - Gomes (2000).

Após a homogeneização fez-se a análise das variâncias (ANOVA), com a finalidade de identificar qual tratamento tinha melhor desempenho. Fizeram-se as comparações dos tratamentos utilizando o teste de Tukey a 5%.

5.1 Resultados das determinações das propriedades físicas, mecânicas, características anatômicas e teor de lignina.

Os valores encontrados para cada propriedade são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Valores médios das propriedades com os limites inferiores e superiores.

Variável	Idades			
	limites	5 anos	10 anos	30 anos
Densidade aparente ρ_{ap} (g/cm ³)	inferior	0,52	0,54	0,65
	média	0,53	0,55	0,67
	superior	0,54	0,56	0,68
Retração radial ϵ_{r2} (%)	inferior	2,27	2,84	3,29
	média	2,56	3,31	3,54
	superior	2,84	3,78	3,73
Retração tangencial ϵ_{r3} (%)	inferior	3,01	3,61	3,84
	média	3,26	3,89	4,06
	superior	3,51	4,17	4,28
Coeficiente de anisotropia no inchamento - A_i	inferior	1,19	1,17	1,07
	média	1,34	1,32	1,18
	superior	1,49	1,48	1,30
Coeficiente de anisotropia na retração - A_r	inferior	1,25	1,09	1,11
	média	1,38	1,20	1,17
	superior	1,50	1,30	1,23
Variação volumétrica Δ_{Vr} (%)	inferior	5,31	6,19	7,14
	média	5,65	6,62	7,41
	superior	6,00	7,06	7,69
Resistência à compressão paralela às fibras - F_{c0} (MPa)	inferior	36,89	36,49	53,61
	média	39,14	43,69	56,40
	superior	41,38	49,63	59,19
Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras - E_{c0} (MPa)	inferior	7864	8031	14893
	média	8591	10999	16433
	superior	9318	13359	17974
Resistência à tração paralela às fibras f_{t0} (MPa)	inferior	62,45	84,28	123,26
	média	79,24	97,24	129,59
	superior	86,03	108,89	135,91
Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras f_{v0} (MPa)	inferior	9,81	10,46	12,55
	média	11,07	11,79	13,37
	superior	12,33	13,12	14,19

Resistência à flexão estática - f_m(MPa)	inferior	27,21	62,45	120,07
	média	31,27	74,24	125,82
	superior	35,33	86,02	131,58
Cerne - Cer (cm)	inferior	9,29	10,38	32,65
	média	9,66	10,82	33,45
	superior	10,03	11,27	34,25
Alburno - Alb (cm)	inferior	4,92	4,92	6,21
	média	5,28	5,65	7,22
	superior	5,64	6,37	8,23
Comprimento de fibra - CFb (μm)	inferior	746	996	1218
	média	834	1137	1341
	superior	928	1278	1464
Largura de fibra - LFb (μm)	inferior	11,80	11,73	12,36
	média	14,67	14,75	14,42
	superior	17,53	17,32	16,47
Espessura de fibra - EFb (μm)	inferior	2,66	2,66	2,46
	média	3,02	3,02	2,88
	superior	3,39	3,39	3,29
Teor de lignina - Lig (%)	inferior	32,70	30,30	33,08
	média	32,95	30,86	33,75
	superior	33,19	31,43	34,43

As análises de variância dos resultados encontrados estão organizadas individualmente nos Quadros seguintes.

5.1.1 Análise dos resultados das propriedades físicas e mecânicas por idade

1. Propriedades físicas

O Quadro 8 apresenta os valores da densidade da madeira.

Quadro 8 - Valores médios da densidade (ρ_{ap}) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
ρ_{ap} (g/cm ³)	0,53 B	0,55 B	0,66 A

A>B no teste Tukey (P>0,05)

De acordo com os resultados do Quadro 8, verifica-se que as idades mais jovens 5 e 10 anos não apresentaram diferença significativa, ocorrendo um aumento de variação para 30 anos. A densidade pode ser usada como indicador para estimar a resistência mecânica da madeira.

Segundo Pashin e De Zeew (1980), citados por Moreira (1999), a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas e elásticas da madeira pode ser estimada com base na variação da densidade. A massa específica é a propriedade física mais importante da madeira, pois dela depende estritamente suas propriedades tecnológicas (BURGER, 1991). Zhang (1994), citado por Rocco et al (2004), apresenta um estudo detalhado das relações entre a densidade básica com as propriedades mecânicas, para 342 espécies de madeiras chinesas considerando a classificação taxonômica e constituição anatômica. Segundo o autor, os resultados indicam que as relações densidade e propriedades mecânicas variam acentuadamente com a classe taxonômica e a categoria da madeira. Encontrou dificuldades para explicar as relações mais íntimas entre esses parâmetros, em razão da complexidade da estrutura anatômica.

O IPEF faz referência à densidade média da Teca para 0,65 g/cm³. O IPT apresenta valor de 0,66 g/cm³ a 15%. Ambos os institutos não mencionam a idade da madeira que apresenta esta média. Apesar de haver uma constatação de que não existe variação nessa propriedade, ainda não se pode afirmar um valor absoluto para a espécie, haja vista que a madeira apresenta comportamento diferente em função da idade, principalmente, porque foi a variável que apresentou as melhores correlações com outras, conforme apresentado anteriormente.

O Quadro 9 apresenta os valores de retração radial da madeira.

Quadro 9 - Valores médios da retração radial (ϵ_{r2}) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
ϵ_{r2} (%)	2,56 B	3,31 A	3,54 A

A>B no teste Tukey (P>0,05)

Os valores apresentados no Quadro 9 indicam que houve diferença significativa nas idades 5 e 10 anos, indicando uma trabalhabilidade. Porém não se verifica diferença no intervalo de 10 para 30 anos, isto é, observa-se que a madeira, neste intervalo de idade, está mais estável neste parâmetro.

No Quadro 10 são encontrados os valores de retração tangencial da madeira.

Quadro 10 - Valores médios da retração tangencial (ϵ_{r3}) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
ϵ_{r3} (%)	3,26 B	3,89 B	4,06 A

A>B no teste Tukey (P>0,05)

Os resultados do Quadro 10 mostram que a retração foi maior na idade de 30 anos e apresenta variação pouco significativa entre 5 anos e 10 anos.

O IPT encontrou o valor de 4,60 %, sem especificar a idade para mesma espécie.

O Quadro 11 apresenta os resultados do coeficiente de anisotropia por inchamento da madeira.

Quadro 11 - Valores médios do coeficiente de anisotropia por inchamento (A_i) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
A_i	1,34 A	1,32 A	1,18 A

A>B no teste Tukey (P>0,05)

Os valores do Quadro 11 mostram que, o coeficiente de anisotropia de inchamento não apresenta diferença significativa entre as idades. A madeira da Teca mostra grande estabilidade em todas as idades.

O Quadro 12 se refere aos valores de coeficiente de anisotropia por retração da madeira.

Quadro 12 - Valores médios do coeficiente de anisotropia por retração (A_r) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
A_r	1,38 A	1,20 A	1,17 A

A>B no teste Tukey (P>0,05)

Consoante aos resultados para o coeficiente de anisotropia por retração, não houve diferença significativa entre as idades, além de apresentar pequena diferença para os valores. O fator anisotrópico, tomado de forma isolada, no entanto, não caracteriza uma madeira como sendo estável, causando, ao contrário, uma falsa sensação de estabilidade.

Coefficientes de anisotropia de contração baixos, oriundos de contrações tangencial e radial elevadas, revelam uma madeira com alta instabilidade dimensional (ROCHA, 2000).

O Quadro 13 apresenta os valores de variação volumétrica da madeira.

Quadro 13- Valores médios da variação volumétrica (Δ_{V_r}) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
Δ_{V_r} (%)	5,65 C	6,62 B	7,41 A

Teste Tukey (P>0,05)

Houve variação volumétrica com significância entre as idades, sendo que a maior variação ocorre na idade de 30 anos. Mesmo assim, a Teca se apresenta com baixa trabalhabilidade, sendo uma madeira de boa estabilidade dimensional.

2. Propriedades Mecânicas

Os Quadros 14 e 15 apresentam os valores para resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) e módulo de elasticidade (E_{c0}), dois parâmetros de grande importância na caracterização tecnológica da madeira.

Quadro 14 - Valores médios da resistência obtidos do ensaio de compressão paralela às fibras (F_{c0}).

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
f_{c0} (MPa)	39,14 B	43,68 B	56,40 A

Teste Tukey ($P>0,05$)

Os valores médios de resistência (f_{c0}) para as idades de 5, 10 e 30 anos foram respectivamente: 39,14; 43,68 e 56,40, conforme apresenta o Quadro 14. Em termos de resistência neste caso não houve diferença significativa entre 5 e 10 anos.

O Quadro 15 apresenta os valores encontrados para o módulo de elasticidade.

Quadro 15 - Valores médios do módulo de elasticidade (E_{c0}) obtidos do ensaio de compressão paralela às fibras.

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
E_{c0} (MPa)	8591 C	10999 B	16433 A

Teste Tukey ($P>0,05$)

Os valores determinados para o módulo de elasticidade mostram que houve diferença significativa entre as idades estudadas. A idade de 30 anos foi a que alcançou a maior rigidez, mostrando que no caso, a idade é fator determinante, podendo-se classificar a madeira em função deste parâmetro.

O Quadro 16 apresenta os valores de resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) da madeira.

Quadro 16 - Valores médios da resistência obtidos do ensaio de tração paralela às fibras (f_{t0}).

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
f_{t0} (MPa)	74,24 C	97,24 B	129,59 A

Teste Tukey ($P > 0,05$)

No Quadro 16 podem-se visualizar os valores médios para tração paralela às fibras que é um parâmetro de resistência mecânica normalmente considerada para dimensionamento de peças para usos estruturais. Sua importância reflete a necessidade do conhecimento dos valores de resistência do material quando submetida a esforços tracionados. Alta resistência à tração é importante em madeira a ser vergada com vapor, por exemplo, para fabricação de móveis, embarcações e estruturas especiais (SOUZA, 1998). Os resultados apresentam diferenças nas três idades, demonstrando uma tendência da influencia da idade nas propriedades mecânicas, as quais não podem ser desconsideradas.

O Quadro 17 mostra os valores de cisalhamento da madeira.

Quadro 17 - Valores médios da resistência obtidos do ensaio de cisalhamento (f_{v0}).

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
f_{v0} (MPa)	11,07 A	11,79 A	13,37 B

Teste Tukey ($P > 0,05$)

Ficou evidenciado no Quadro 17 que o valor encontrado para o cisalhamento na idade de 5 anos apresentou pouca diferença para 10 anos. Demonstrando, neste caso uma tendência de crescimento até 30 anos.

O Quadro a 18 apresenta os valores do módulo de resistência na flexão estática.

Quadro 18 - Valores médios de resistência obtidos do ensaio de flexão estática (f_m).

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
f_m (MPa)	31,27 C	74,24 B	125,82 A

Teste Tukey (P>0,05)

Os valores mostrados no Quadro 18, para o módulo de resistência na flexão estática, demonstram que há diferença nas idades 10 anos e 5 anos, apresentando crescimento significativo à partir de 10 anos até aos 30 anos. Moreira (1999), procurando relacionar as propriedades mecânicas e a massa específica, constata uma interessante associação entre a densidade básica e as propriedades do módulo de resistência na flexão estática. A densidade básica explicou 84,2% da variabilidade da resistência à flexão da madeira de Pinho-Cuiabano (*Schyzolobium amazonicum*).

5.1.2 Análise dos resultados das propriedades organolépticas e características anatômicas por idade

1. Propriedades organolépticas

Os Quadros 19 e 20 mostram os valores encontrados para o cerne e alburno.

Quadro 19 - Valores médios de variação de cerne (Cer) obtidas de medidas macroscópicas.

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
Cer (cm)	9,66 C	10,82 B	33,45 A

A>B no Teste Tukey (P>0,05)

Pode-se observar no Quadro 19 que pelos valores médios obtidos para o cerne, apresentaram-se diferenças entre 5 anos, 10 anos e 30 anos. Fica demonstrado que o período inicial de crescimento da planta é pela busca da luz, explicado pela fisiologia vegetal, influenciado diretamente pelo trato silvicultural e manejo de plantio.

Torna-se evidente que o maior ganho em cerne se deu nos primeiros cinco anos em que o crescimento chegou a cerca de 2 cm/ano; nos cinco anos seqüentes este ocorreu em menor escala, com incremento de 1,2 cm/ano após o décimo ano.

Quadro 20 - Valores médios de variação de alburno (Alb) obtidas de medidas macroscópicas.

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
Alb (cm)	5,28 B	5,65 B	7,22 A

A>B no teste Tukey (P>0,05)

Sabe-se que o crescimento de alburno é pequeno em relação ao cerne. O Quadro 20 mostra os valores médios obtidos para alburno que apresentaram diferenças entre 10 anos e 30 anos, mantendo sem diferença para 5 anos. De acordo com Burger (1991), a proporção de cerne e alburno varia dentro da própria árvore e, além de muitos fatores, dependem da espécie, idade, sítio, solo e clima.

Assim como o cerne, o alburno teve um incremento nos primeiros cinco anos, depois praticamente não houve até o décimo ano. Houve um incremento de 0,04 cm/ano do décimo ano até o trigésimo ano.

2. Características Anatômicas

O Quadro 21 dá a conhecer os valores de comprimento de fibra da madeira.

Quadro 21 - Valores médios de comprimento de fibra (CFb) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
CFb (μm)	834 B	1137 A	1341 A

A>B no teste Tukey (P>0,05)

Os valores do comprimento de fibras em função da idade apresentam diferença significativa entre as idades de 5 a 10, mantendo-se estável até 30 anos.

O Quadro 22 apresenta os valores de largura de fibra da madeira.

Quadro 22 - Valores médios de Largura da fibra (LFb) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
LFb (μm)	14,67 A	14,75 A	14,42 A

Teste Tukey ($P>0,05$)

Os valores apresentados no Quadro 22 de largura da fibra em função da idade demonstram que não houve diferença significativa entre as três idades estudadas, demonstrando que a largura de fibra não é um parâmetro que diferencie e possa ser usado para se classificar a madeira.

O Quadro 23 apresenta os valores de espessura de fibra da madeira.

Quadro 23 - Valores médios de Espessura da fibra (EFb) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
EFb (μm)	3,02 A	3,02 A	2,88A

Teste Tukey ($P>0,05$)

Os valores do Quadro 23 de espessura de fibra em função da idade, demonstram que não houve diferença significativa entre as três idades estudadas. Mostra que a espessura da fibra não é um parâmetro que diferencie e possa ser usado para se classificar a madeira.

5.1.3 Análise dos resultados do teor de lignina em função da idade

O Quadro 24 apresenta os valores da lignina com teor de extrativos.

Quadro 24 - Valores médios da variação da Lignina (Lig) em função da idade

Variável	Idades		
	5 anos	10 anos	30 anos
Lig (%)	32,95 A	30,86 A	33,75 A

Teste Tukey (P>0,05)

Verifica-se que não houve variação da lignina com as idades, demonstrando que os teores de elementos químicos estão presentes em proporções bem próximas entre as idades.

5.1.4 Resultados das correlações entre as propriedades

No Quadro 25 são apresentadas as correlações das propriedades físicas, mecânicas, organolépticas, característica anatômica e teor de lignina.

Quadro 25-Correlações entre as propriedades físicas, mecânicas, características anatômicas e teor de lignina

Variável	f_{c0}	E_{c0}	f_{t0}	f_{v0}	f_m	Cer	Alb	CFb	LFb	EFb	Ai	Ar	ρ_{ap}	ϵ_{r2}	ϵ_{r3}	ΔVr	Lig
f_{c0}	1,00	0,94*	0,60*	0,04	0,68*	0,70*	0,29	0,54*	0,22	-0,11	-0,26	-0,18	0,67*	0,17	0,21	0,38	0,30
E_{c0}	0,94*	1,00	0,64*	-0,02	0,70*	0,71*	0,29	0,50*	0,16	-0,07	-0,31	-0,22	0,70*	0,22	0,25	0,44	0,26
f_{t0}	0,60*	0,64*	1,00	-0,07	0,71*	0,75*	0,37	0,44	0,07	-0,28	-0,34	-0,41	0,74*	0,35	0,31	0,53	0,11
f_{v0}	0,04	-0,02	-0,07	1,00	-0,10	-0,07	-0,18	0,02	-0,22	0,11	0,10	0,02	-0,09	0,12	0,20	0,12	-0,23
f_m	0,68*	0,70*	0,71*	-0,10	1,00	0,98*	0,52*	0,56*	-0,03	-0,10	-0,29	-0,25	0,94*	0,41	0,45	0,66*	0,58*
Cer	0,70*	0,71*	0,75*	-0,07	0,98*	1,00	0,52*	0,57*	-0,03	-0,10	-0,29	-0,29	0,94*	0,40	0,43	0,65*	0,54*
Alb	0,29	0,29	0,37	-0,18	0,52*	0,52*	1,00	0,37	-0,29	-0,37	-0,28	-0,33	0,50*	0,45	0,47	0,46	0,23
CFb	0,54*	0,50*	0,44	0,02	0,56*	0,57*	0,37	1,00	0,11	0,09	0,09	-0,19	0,55*	0,27	0,42	0,51*	0,14
LFb	0,22	0,16	0,07	-0,22	-0,03	-0,03	-0,29	0,11	1,00	-0,02	0,09	0,05	0,00	-0,26	-0,29	-0,14	-0,22
EFb	-0,11	-0,07	-0,28	0,11	-0,10	-0,10	-0,37	0,09	-0,02	1,00	0,19	0,10	-0,14	-0,15	-0,16	0,03	0,04
Ai	-0,26	-0,31	-0,34	0,10	-0,29	-0,29	-0,28	0,09	0,09	0,19	1,00	0,46	-0,19	-0,22	-0,05	-0,29	-0,08
Ar	-0,18	-0,22	-0,41	0,02	-0,25	-0,29	-0,33	-0,19	0,05	0,10	0,46	1,00	-0,37	-0,53	-0,22	-0,54	0,10
ρ_{ap}	0,67*	0,70*	0,74*	-0,09	0,94*	0,94*	0,50*	0,55*	0,00	-0,14	-0,19	-0,37	1,00	0,45	0,46	0,66*	0,47
ϵ_{r2}	0,17	0,22	0,35	0,12	0,41	0,40	0,45	0,27	-0,26	-0,15	-0,22	-0,53	0,45	1,00	0,82*	0,76*	-0,02
ϵ_{r3}	0,21	0,25	0,31	0,20	0,45	0,43	0,47	0,42	-0,29	-0,16	-0,05	-0,22	0,46	0,82*	1,00	0,78*	0,07
ΔVr	0,38	0,44	0,53*	0,12	0,66*	0,65*	0,46	0,52*	-0,14	0,03	-0,29	-0,54	0,66*	0,76*	0,78*	1,00	0,18
Lig.	0,30	0,26	0,11	-0,23	0,58*	0,54*	0,23	0,14	-0,22	0,04	-0,08	0,10	0,47	-0,02	0,07	0,18	1,00

* Significativo a 5% de probabilidade

f_{c0} = resistência à compressão paralela ; E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela; f_{t0} = resistência à tração paralela; f_{v0} = resistência ao cisalhamento; f_m = módulo de resistência na flexão estática; Cer = cerne; Alb = alburno; CFb = comprimento da fibra; LFb = largura da fibra; EFb = espessura da fibra; Ai = anisotropia no inchamento; Ar = anisotropia na retração; ρ_{ap} = densidade aparente; ϵ_{r2} = retração radial; ϵ_{r3} = retração tangencial; ΔVr = variação volumétrica; lig = lignina.

1. Análise das correlações entre as propriedades físicas e mecânicas

As correlações da densidade com resistência a compressão paralela às fibras (f_{c0}), módulo de elasticidade (E_{c0}), resistência à tração paralela as fibras (f_{t0}) e módulo de resistência na flexão (f_m) obtiveram-se os valores de r e P respectivamente: $r = 0,67$; $P < 0,001$; $r = 0,70$; $P < 0,001$; $r = 0,74$; $P < 0,001$; $r = 0,94$; $P < 0,001$.

A resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) e o módulo de elasticidade à compressão paralela (E_{c0}), fatores que, na madeira, são diretamente proporcionais foi encontrada correlação de (f_{c0}) e (E_{c0}) de $r = 0,94$; $P < 0,001$, com isso, a resistência é dependente do módulo de elasticidade.

A resistência à compressão paralela às fibras teve correlações também com tração e flexão. Os valores encontrados foram respectivamente: $r = 0,60$; $P < 0,001$; $r = 0,68$; $P < 0,001$.

A resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) e módulo de elasticidade (E_{c0}), teve correlação de ($r = 0,67$; $P < 0,001$) com a densidade. Outro fator importante na resistência é o diâmetro do cerne, em que fora encontrada correlação $r = 0,70$; $P < 0,001$, indicando quanto maior o cerne maior a resistência da madeira.

O módulo de elasticidade à compressão paralela obteve também correlações com o cerne, densidade e comprimento de fibra. Com o cerne foi: $r = 0,71$; $P < 0,001$, e isso mostra que o cerne influencia o módulo de elasticidade. Com o comprimento de fibra, $r = 0,50$; $P < 0,001$, existe uma correlação de 50%. Ocorreu também com a densidade, encontrando-se valores de: $r = 0,70$; $P < 0,001$.

Para a tração as correlações mais expressivas encontradas foram a densidade e o cerne obtendo os valores de r e P respectivamente: $r = 0,74$; $P < 0,001$; $r = 0,75$; $P < 0,001$.

Os valores dessas correlações mostram que, a tração, densidade e o incremento de cerne servem para classificar a espécie em diferentes idades. As propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos correspondentes à compressão.

O cisalhamento foi à única propriedade mecânica que não se correlacionou com outras propriedades.

Moreira (1999) destaca o fato de que embora os ensaios para determinação da resistência ao cisalhamento sejam de concepção e execução fáceis, eles têm recebido muitas críticas. Para alguns pesquisadores, não se consegue cisalhamento puro nos ensaios atuais. Há algum

componente de esforço que causa fendilhamento ou flexão nas amostras, e a distribuição no interior delas não é uniforme.

Os resultados podem estar contaminados pelos fenômenos citados, o que pode explicar talvez este comportamento.

Szücs et al (1998), apresentam proposta de ensaio de cisalhamento para o qual foi adotado um corpo-de-prova semelhante ao da norma francesa com a finalidade de corrigir essas interferências.

A variável flexão se correlacionou com a densidade em níveis significantes de $r = 0,94$; $P < 0,001$, mostrando que a resistência à flexão está diretamente relacionada com a densidade.

Outra correlação da flexão foi com o incremento de cerne $r = 0,98$; $P < 0,001$.

2. Análise das correlações entre as características anatômicas e propriedades organolépticas com as propriedades físicas e mecânicas

Segundo Burger (1991), a massa específica de uma espécie, varia de acordo com alburno, cerne, lenho inicial, lenho tardio e, sobretudo, com o teor de umidade. Correlações entre as características anatômicas macroscópicas e propriedades mecânicas podem ser estabelecidas, as quais também servirão para estimar, visualmente, as características de uma peça de madeira.

Neste estudo com Teca o cerne teve correlação direta com a densidade ($r = 0,94$; $P < 0,001$).

Para o alburno foram encontradas correlações com a variável flexão e densidade onde os coeficientes obtidos foram: $r = 0,52$; $P < 0,001$ e $r = 0,50$; $P < 0,001$ respectivamente.

Houve correlação entre comprimento de fibra e incremento de cerne de: $r = 0,57$; $P < 0,001$. Apesar de não ter sido alta, apresentou um grau de significância bom.

O comprimento de fibra também apresenta correlação entre as propriedades mecânicas, compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade e módulo de resistência na flexão, encontrando os seguintes coeficientes, respectivamente: $r = 0,54$; $P < 0,001$; $r = 0,50$; $P < 0,004$; $r = 0,56$; $P < 0,001$. Percebe-se também que as correlações com as propriedades mecânicas apresentaram coeficiente acima de 50%, um bom grau de significância.

A retração radial ϵ_{r2} apresentou correlação com a variação volumétrica Δ_{Vr} de; $r = 0,76$; $P < 0,001$.

A variação volumétrica Δ_{Vr} apresentou correlações com densidade aparente ρ_{ap} e retração tangencial ϵ_{r3} onde os coeficientes obtidos foram respectivamente: $r = 0,66$; $P < 0,001$; $r = 0,78$; $P < 0,001$. Isso mostra que a variação volumétrica é diretamente relacionada com a densidade.

Portanto as melhores correlações encontradas foram: densidade aparente (ρ_{ap}), módulo de elasticidade (E_{c0}), resistência compressão paralela às fibras (f_{c0}), resistência à flexão estática (f_m) e Cerne (Cer);

5.2 Determinação dos estimadores para as propriedades determinadas

A Figura 13 mostra a resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) em função da idade.

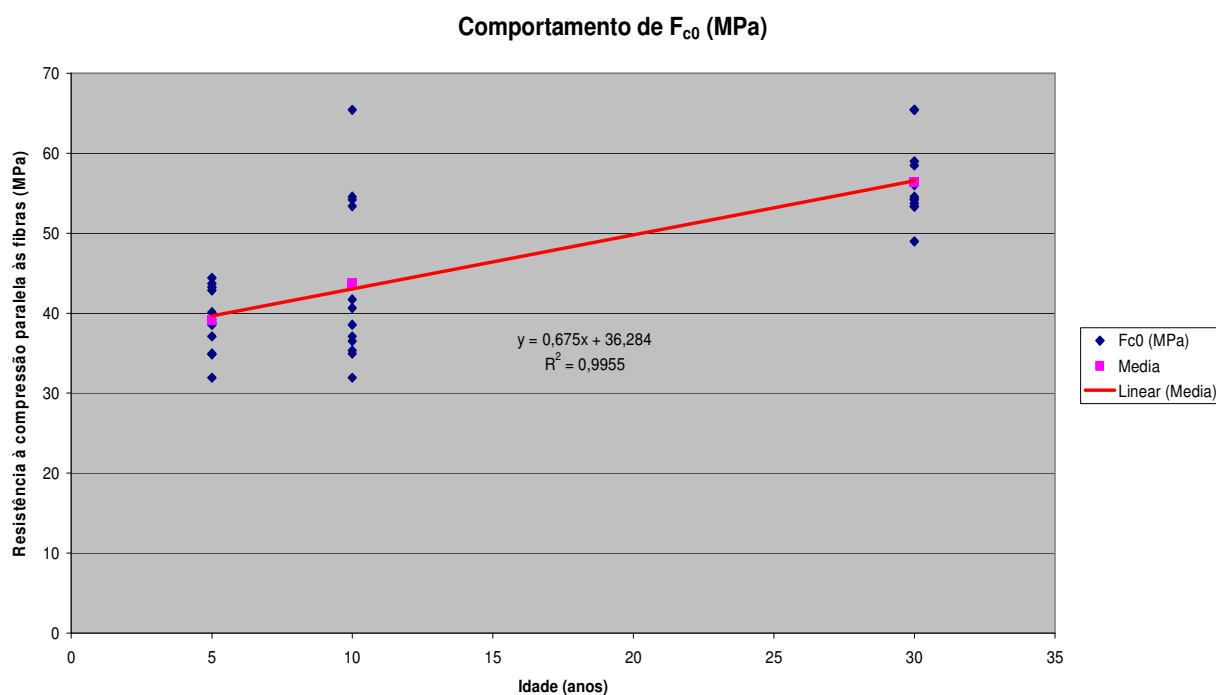


Figura 13 – Comportamento da propriedade mecânica f_{c0} (MPa)

De acordo com a Figura 13 observa-se uma regressão linear que, para homogeneizar os dados, submeteram-se os tratamentos ao teste de Bartlett. Dado que o parâmetro f_{c0} (MPa), apresentou diferença quanto à variabilidade, foi necessário fazer a transformação da raiz

quadrada para a determinação da equação com finalidade de estimar os valores de 15, 20 e 25 anos. Os valores encontrados foram respectivamente: 46,33; 49,68 e 53,03 (MPa). Por esses resultados, observa-se que a madeira de árvore jovem deve ser classificada pela idade para a propriedade mecânica (f_{c0}), cuja adequação será de acordo com a finalidade.

Para estimar os valores referentes à idade chegou-se à equação: $y = 0,675x + 36,284$, cujo valor de $R^2 = 0,9955$.

A Figura 14 mostra o comportamento do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras (E_{c0}) em função da idade.

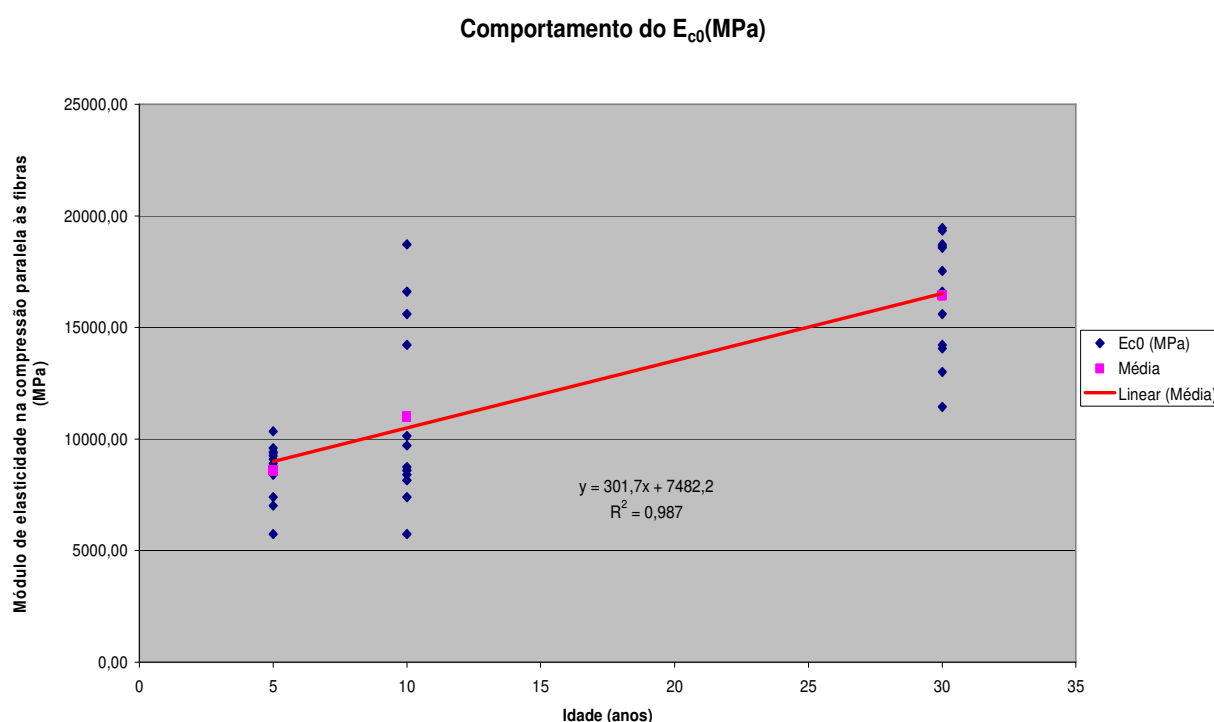


Figura 14 – Comportamento do módulo de elasticidade na compressão paralela (E_{c0})

A Figura 14 revela uma regressão linear da variável E_{c0} (módulo de elasticidade na compressão paralela) a partir da qual, se obter a equação de estimação pela transformação logarítmica. Através da equação podem-se estimar os valores para 15, 20 e 25 anos. Os resultados encontrados foram: 12007,7; 13516,2 e 15024,7 (MPa), respectivamente. Através dela é possível descobrir os valores em diferentes idades da madeira, sendo importante também para a classificação da espécie.

Com a finalidade de encontrar os valores referentes à idade adota-se a equação:

$$y = 301,7x + 7482,2; \text{ em que o valor de } R^2 = 0,9879.$$

A Figura 15 mostra o comportamento da resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) com a idade.

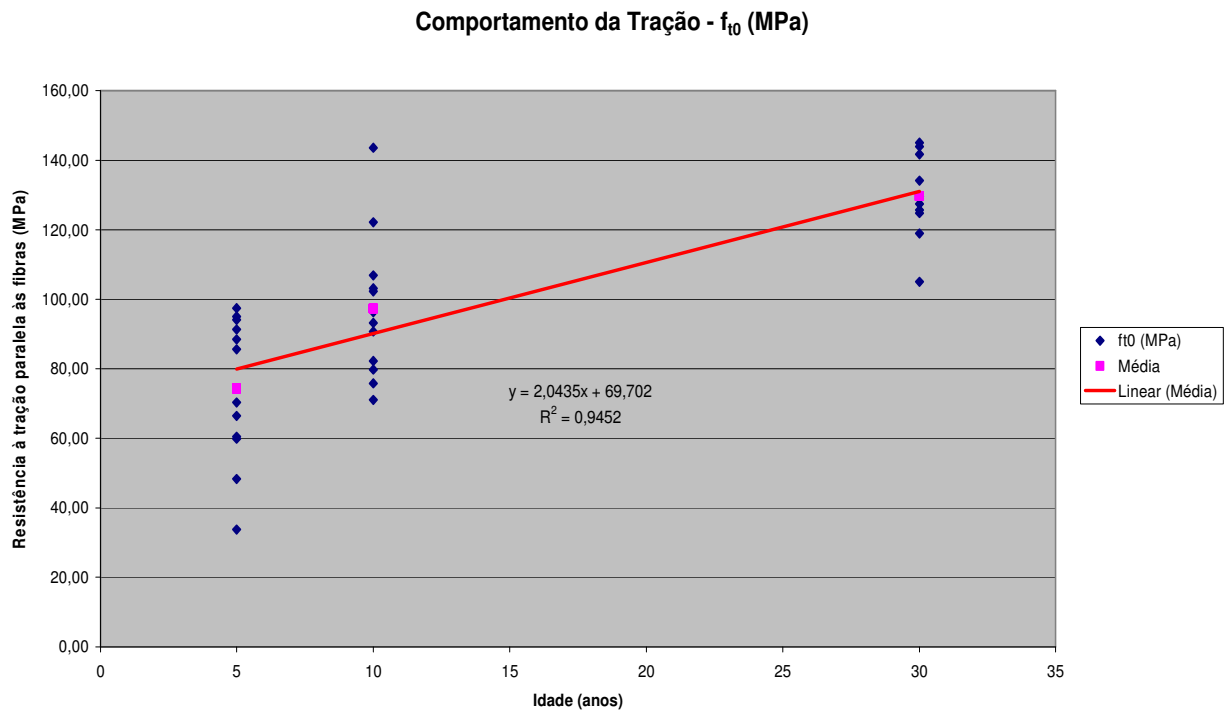


Figura 15 – Comportamento da resistência à tração paralela às fibras (MPa)

Para ajustar a regressão linear da Figura 15, foi seguido o mesmo procedimento da propriedade mecânica F_{c0} . Por meio da equação definiram-se os parâmetros para as idades de 15, 20 e 25 anos. Os valores encontrados para essas idades foram respectivamente: 100,03; 110,57 e 120,78 (MPa).

Para os valores referentes à idade, a seguinte equação foi utilizada:

$$y = 2,0435x + 69,702, \text{ cujo valor de } R^2 = 0,9452.$$

O comportamento da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}), com a idade, encontra-se na Figura 16:

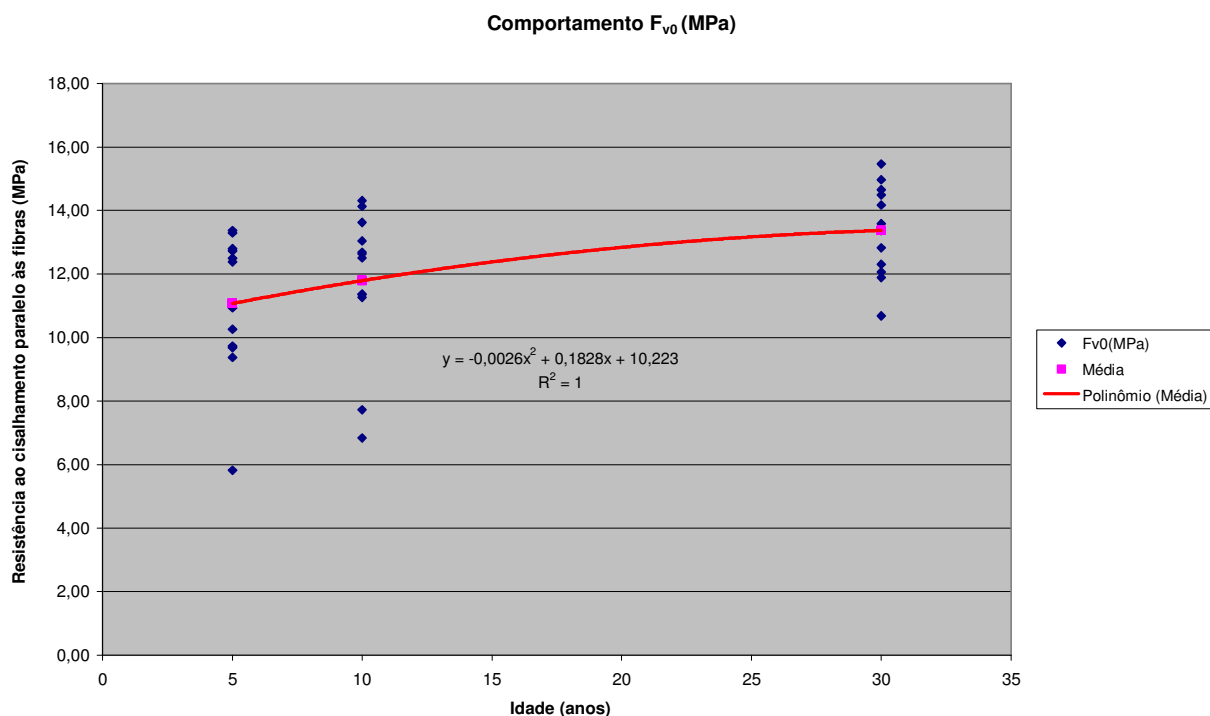


Figura 16 – Comportamento do cisalhamento (MPa).

Através da equação mostrada na Figura 16, estimaram-se os valores para as idades de 15, 20 e 25 anos, que são respectivamente: 12,38, 12,84 e 13,17 (MPa). A equação é resultante de uma transformação logarítmica para a qual o valor de $R^2 = 1$.

Equação usada para se obter os valores referentes à idade:

$$y = -0,0026x^2 + 0,1828x + 10,223.$$

O comportamento da resistência flexão estática (F_m) em função da idade é apresentada na Figura 17:

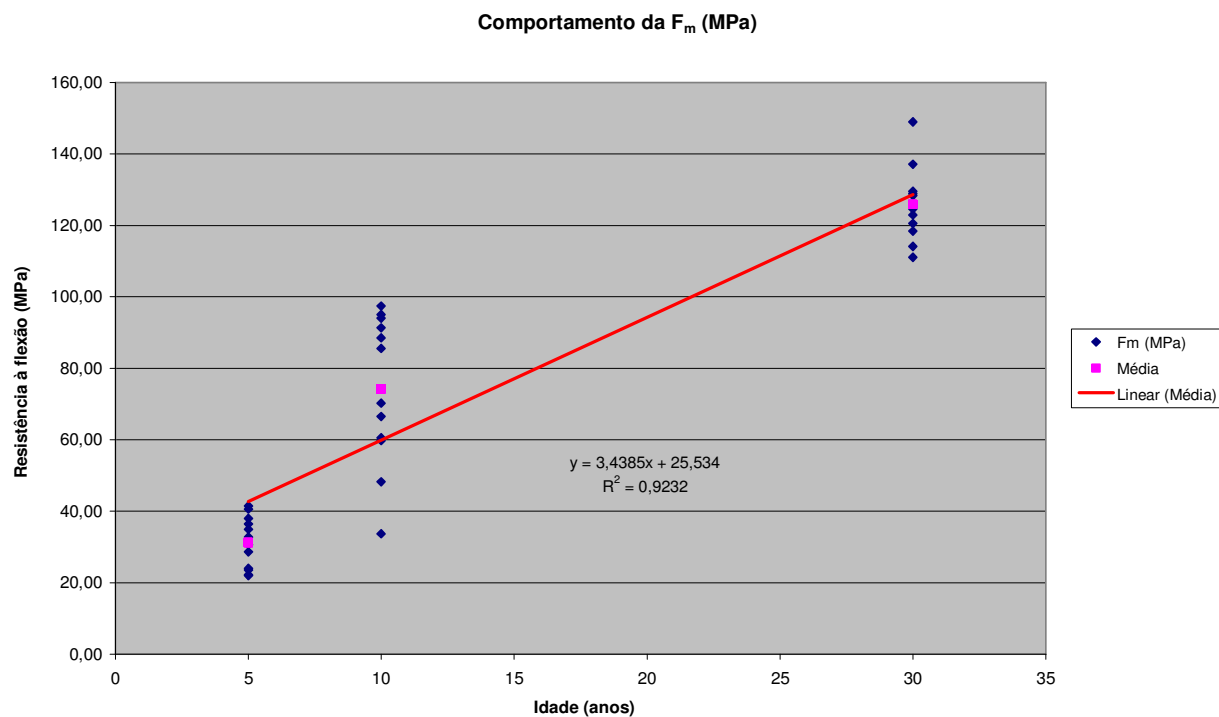


Figura 17 – Comportamento da Flexão (MPa)

A Figura 17 mostra uma regressão linear positiva ajustada para essa propriedade, onde é possível observar que até aos 30 anos a madeira está aumentando seu valor da flexão. A fim de ajustar a equação, houve a necessidade de uma transformação logarítmica dos dados, na qual se pôde chegar aos valores para as idades de 15, 20 e 25 anos, quais sejam: 77,11; 94,30 e 111,50 (MPa), respectivamente.

A equação aplicada para estimar os valores referentes às idades foi:

$$y = 3,4385x + 25,534, \text{ cujo valor de } R^2 = 0,9232$$

A Figura 18 expõe o comportamento do cerne (Cer) com a idade:

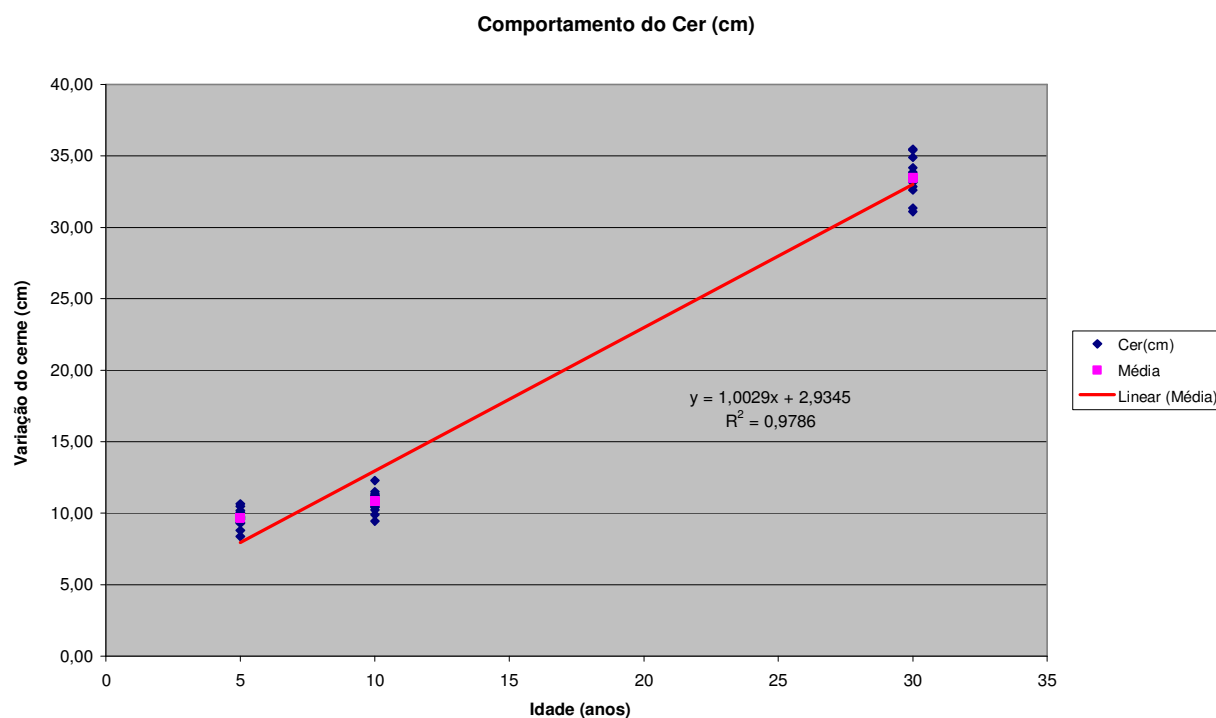


Figura 18 – Comportamento do cerne (cm)

Para a regressão, houve a necessidade de ajustar os dados para transformação logarítmica, obtendo a equação de modo a estimar os valores referentes às idades de 15, 20 e 25 anos, encontrados respectivamente: 17,98; 23,00 e 28,00 (cm).

A equação obtida foi:

$$y = (1,0029x + 2,9345), \text{ com o valor de } R^2 = 0,9786.$$

Na Figura 19, vê-se o comportamento do alburno (Alb) com a idade:

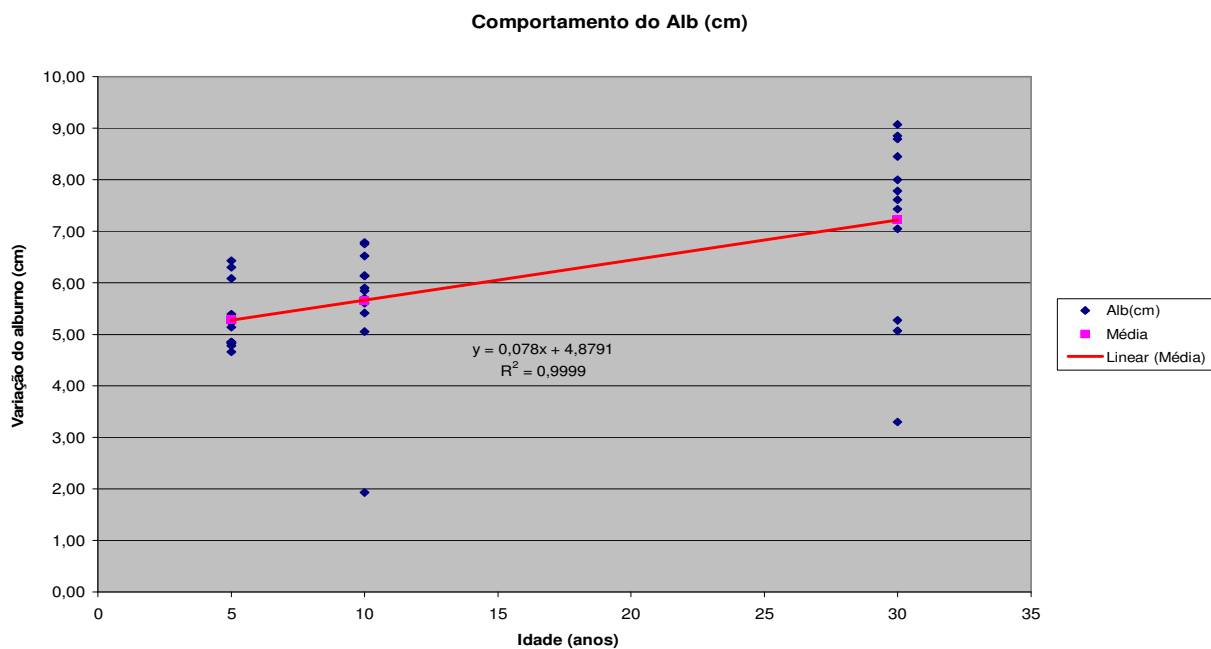


Figura 19 – Comportamento do alburno (cm)

A Figura 19 mostra que o crescimento do alburno é maior até os cinco primeiros anos. Passados esses anos, a variação do seu crescimento é menor. Para determinar a equação de estimação dos dados, adotou-se a transformação logarítmica dos mesmos, alcançando os seguintes valores para as idades 15, 20 e 25 anos: 6,05; 6,44 e 6,83 (cm), respectivamente, tendo para isso, utilizada a equação:

$$y = 0,078x + 4,8791, \text{ em que } R^2 = 0,9999.$$

A Figura 20 demonstra haver uma relação direta crescente entre o comprimento da fibra com a idade até os 30 anos.

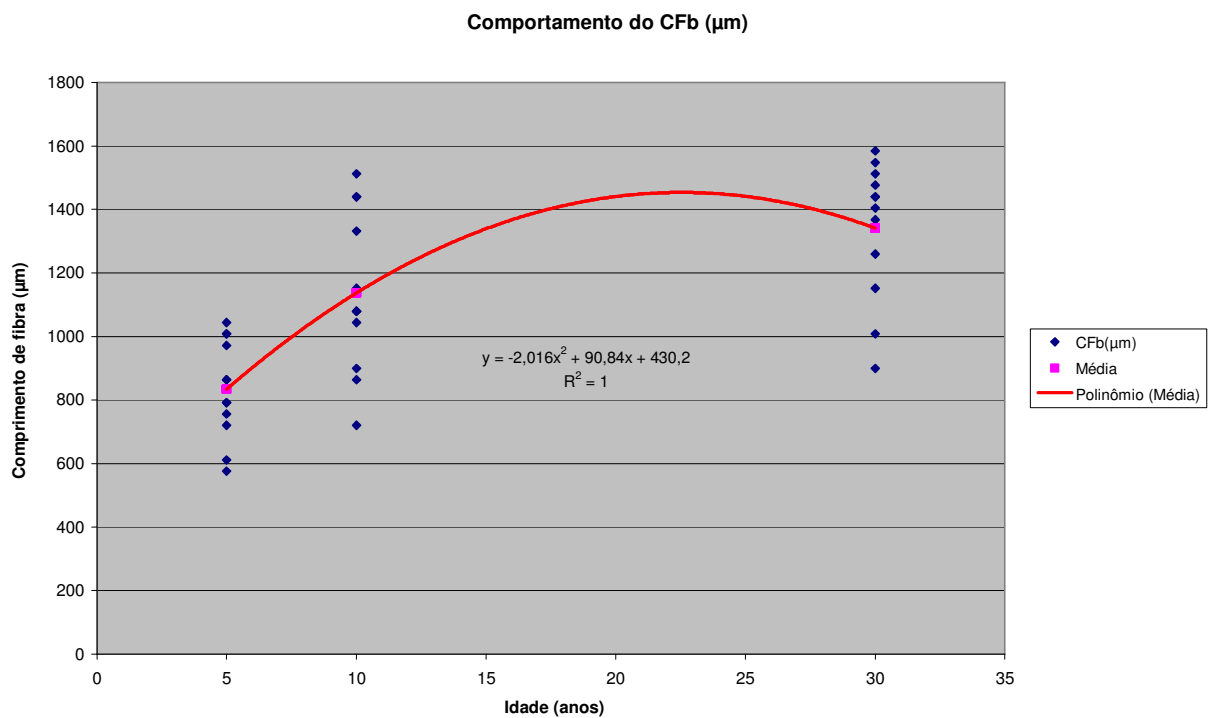


Figura 20 – Comportamento do comprimento de fibra (μm)

Para a elaboração da equação acima, houve necessidade de se efetivar uma homogeneização entre os valores através de um ajuste polinomial, e também a transformação logarítmica desses valores. Ainda não se sabia precisar em que idade essa espécie deixa de formar lenho juvenil. Observa-se, pelo gráfico, uma tendência, nesse caso, de uma estabilização entre 20 e 25 anos. Determinaram-se os valores estimados pela equação para as idades de 15, 20 e 25 anos: 1339,2; 1440,6 e 1441,2 (μm), respectivamente.

A equação encontrada:

$$y = (-2,016x^2 + 90,84x + 430,2), \text{ onde valor de } R^2 = 1$$

O comportamento da largura da fibra (LFb) com a idade é visto na Figura 21:

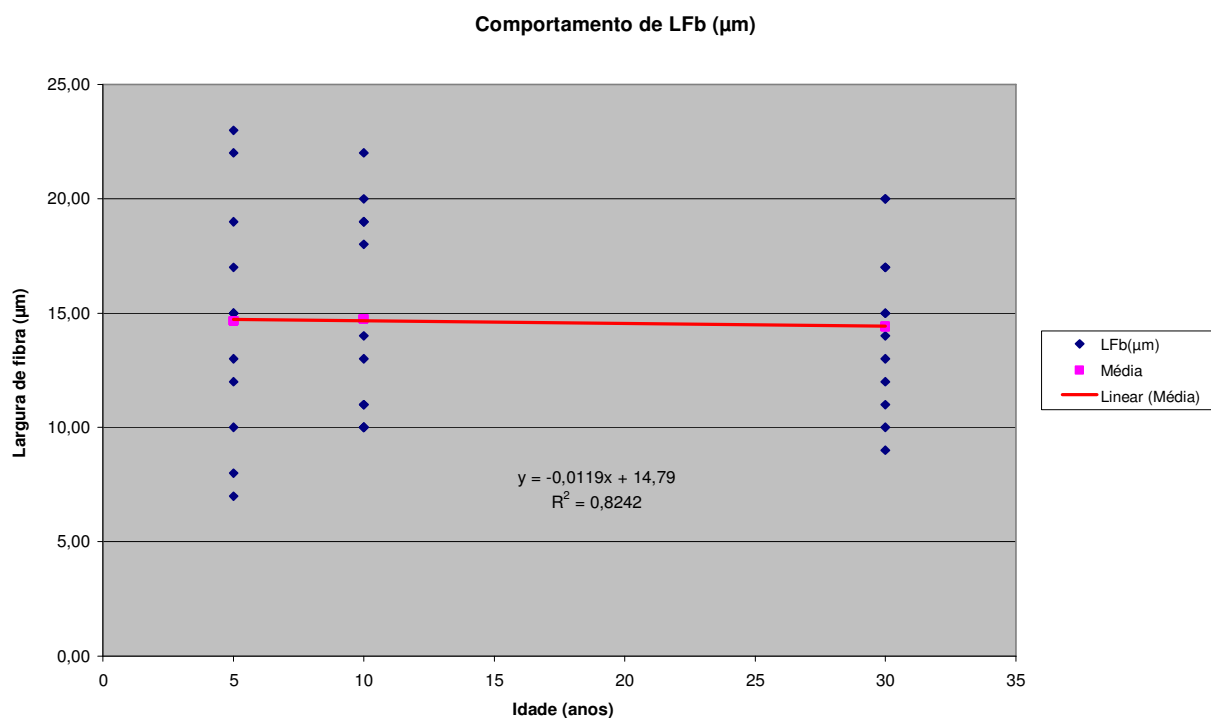


Figura 21 – Comportamento da largura da fibra (μm)

O comportamento da largura da fibra em relação à idade indica uma equação de ajuste e um estimador dos valores entre as idades de 5 a 30 anos. Para essa equação, realizou-se a transformação logarítmica dos dados com a finalidade de homogeneizá-los. Os valores calculados para 15, 20 e 25 anos foram respectivamente: 14,61; 14,55 e 14,49 (μm). Percebe-se que os valores de largura da fibra são inversos à idade, ocorrendo um pequeno decréscimo ao longo do tempo. Isso é explicado pela fisiologia da planta, visto que com o aumento do cerne e da densidade, a fibra perde água e diminui sua largura.

Os valores referentes à idade foram calculados pela equação:

$$y = -0,0119x + 14,79; \text{ valor de } R^2 = 0,8242.$$

A Figura 22 mostra o comportamento da espessura (EFb) da fibra com a idade:

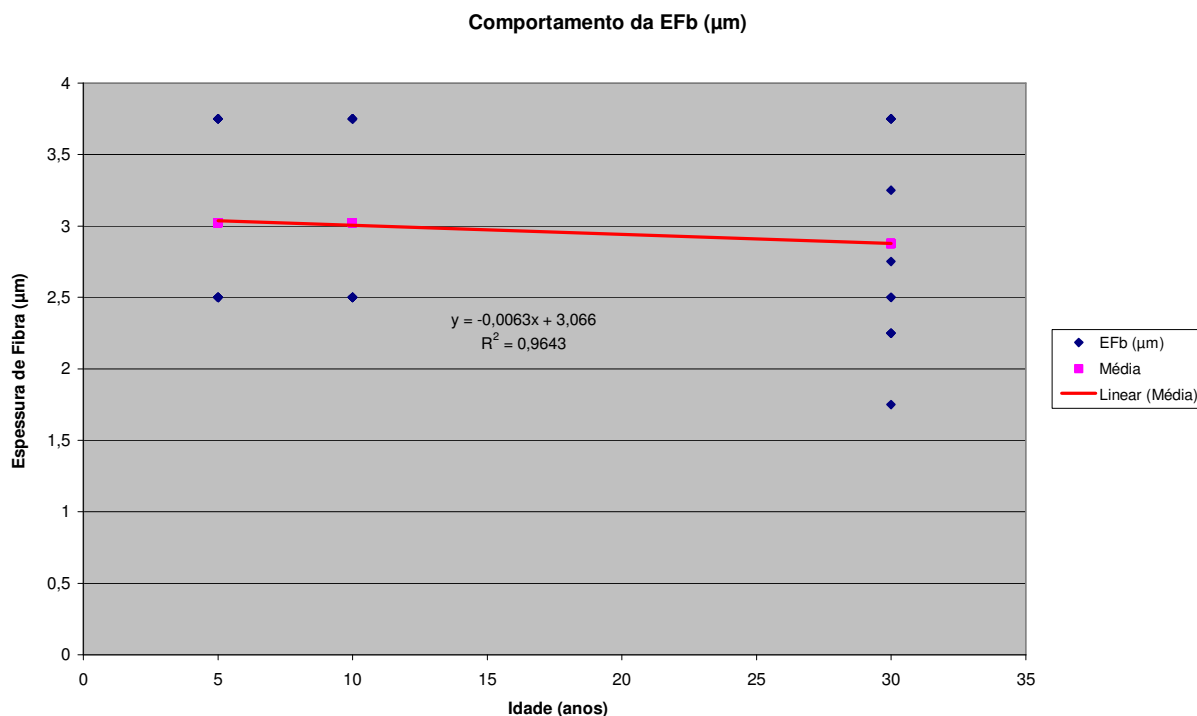


Figura 22 – Comportamento da espessura da fibra (μm)

A madeira juvenil caracteriza-se por apresentar fibras e vasos mais curtos e ainda por apresentar fibras de paredes mais finas na vizinhança da medula (MOREIRA 1999).

A Figura acima, relativa ao comportamento da espessura da fibra com a idade, revela um pequeno incremento da espessura da fibra ao longo da idade. Para essa regressão, também se realizou a transformação logarítmica dos dados encontrando os valores estimados para 15, 20 e 25 anos, respectivamente: 2,97; 2,94 e 2,91 (μm), os valores de espessura da fibra também podem ser explicados pela fisiologia, pois conforme a idade, a parede celular torna-se mais espessa.

A equação para esse caso foi:

$$y = -0,0063x + 3,066, R^2 = 0,9643$$

A Figura 23 mostra o comportamento da densidade (ρ_{ap}) com a idade.

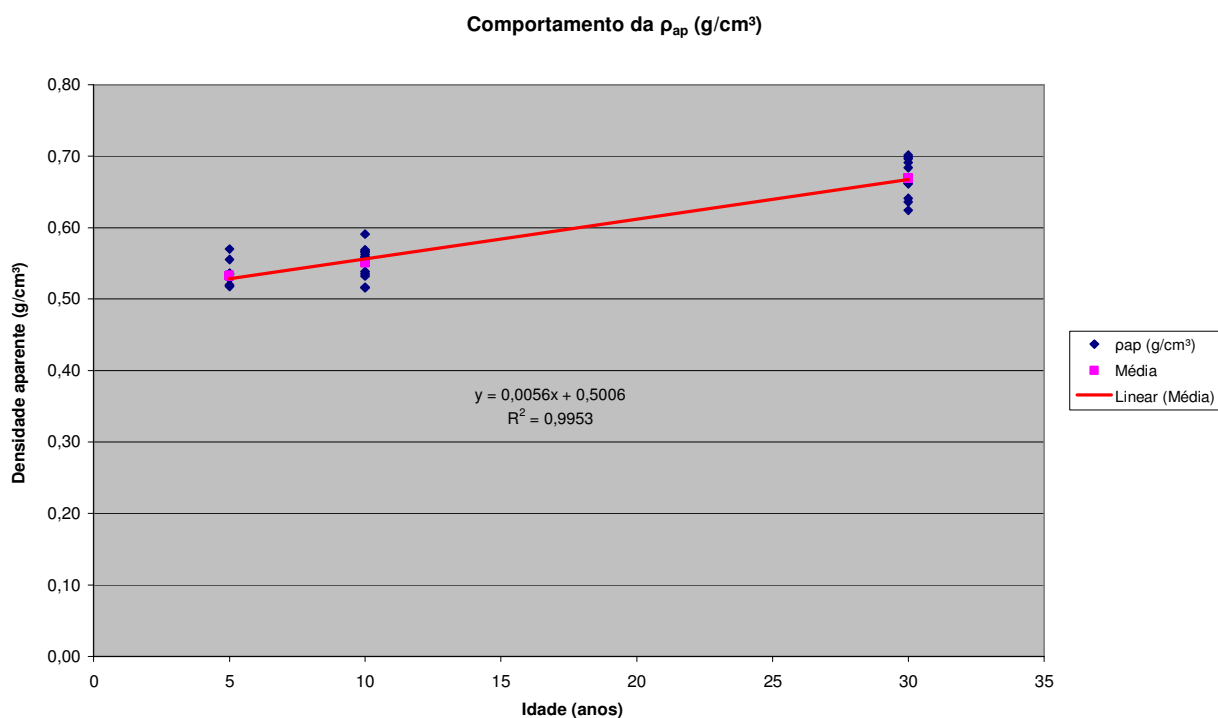


Figura 23 – Comportamento da densidade (g/cm³)

Para os valores representados pela Figura 23, procedeu-se utilizando a transformação logarítmica dos dados para homogeneização, chegando-se aos seguintes valores estimados da densidade para as idades de 15, 20 e 25 anos: 0,58, 0,61 e 0,64 (g/cm³), respectivamente. A densidade tem valor importante para a classificação da madeira, encontrando correlações altas com cerne e flexão.

Para encontrar os resultados estimados, utiliza-se da equação:

$$y = 0,0056x + 0,5006, \text{ valor de } R^2 = 0,9953$$

A Figura 24 apresenta o comportamento da retração radial (ϵ_{r2}) com a idade.

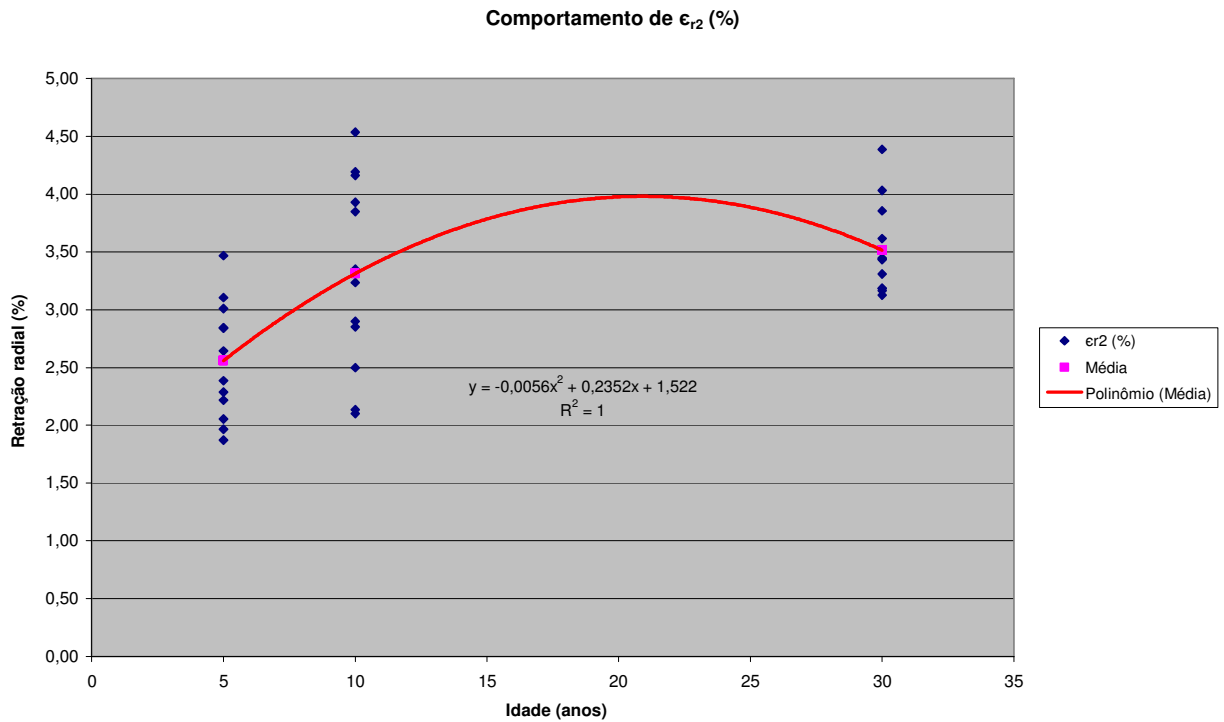


Figura 24 – Comportamento da retração radial (%)

Para os resultados da Figura 24, adotou-se o mesmo procedimento anterior para a homogeneização dos dados, sendo os valores computados para as idades 15, 20 e 25 anos: 3,79, 3,97 e 3,90 (%), respectivamente. Atenta-se para o fato de que o maior valor de retração foi de 20 anos, havendo um pequeno decréscimo após esta idade.

A equação adotada foi:

$$y = -0,0056x^2 + 0,2352x + 1,522; \text{ o valor de } R^2 = 1$$

O comportamento da retração tangencial (ϵ_{r3}) com a idade é representado pela Figura 25:

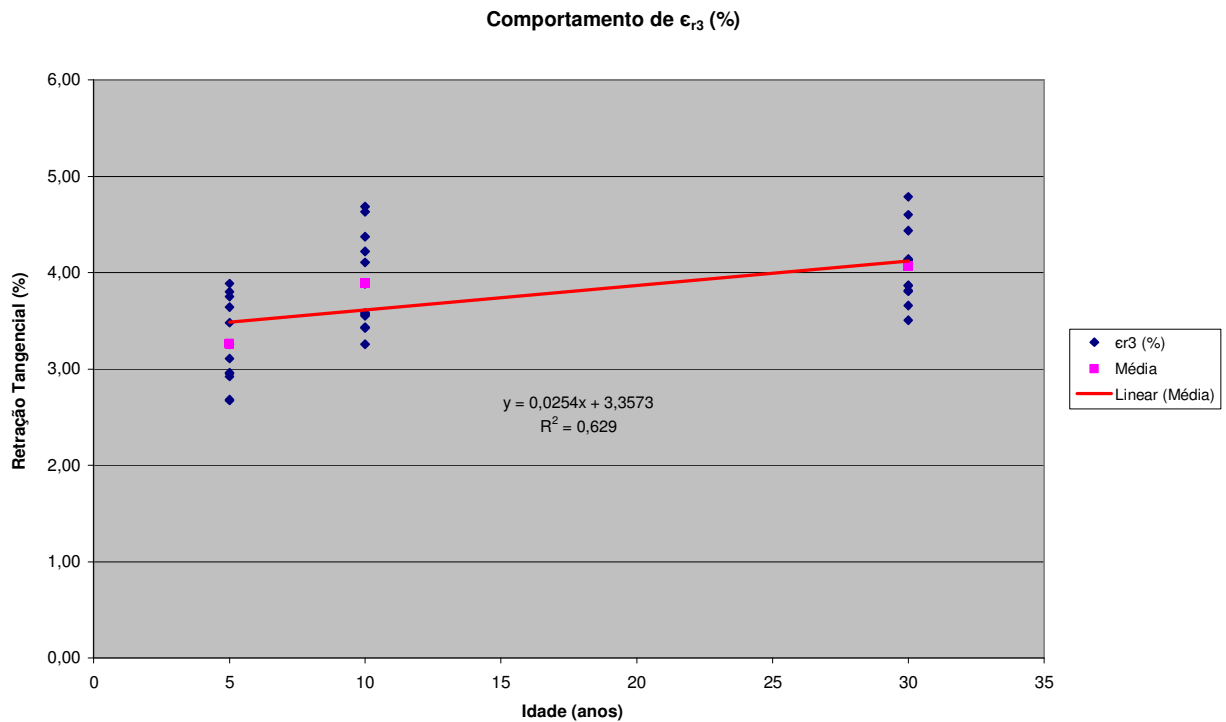


Figura 25 – Comportamento da retração tangencial (%)

A homogeneização dos dados também foi necessária para a obtenção da Figura 25, cujos valores, para as idades de 15, 20 e 25 anos, alcançaram, respectivamente: 3,74; 3,86 e 3,99 (%). Observa-se que a retração tangencial tem um comportamento diferente da radial.

Usou-se a equação:

$$y = 0,0254x + 3,3573, \text{ com valor de } R^2 = 0,629.$$

Na Figura 26, observa-se o comportamento da variação volumétrica (Δ_{Vr}) com a idade:

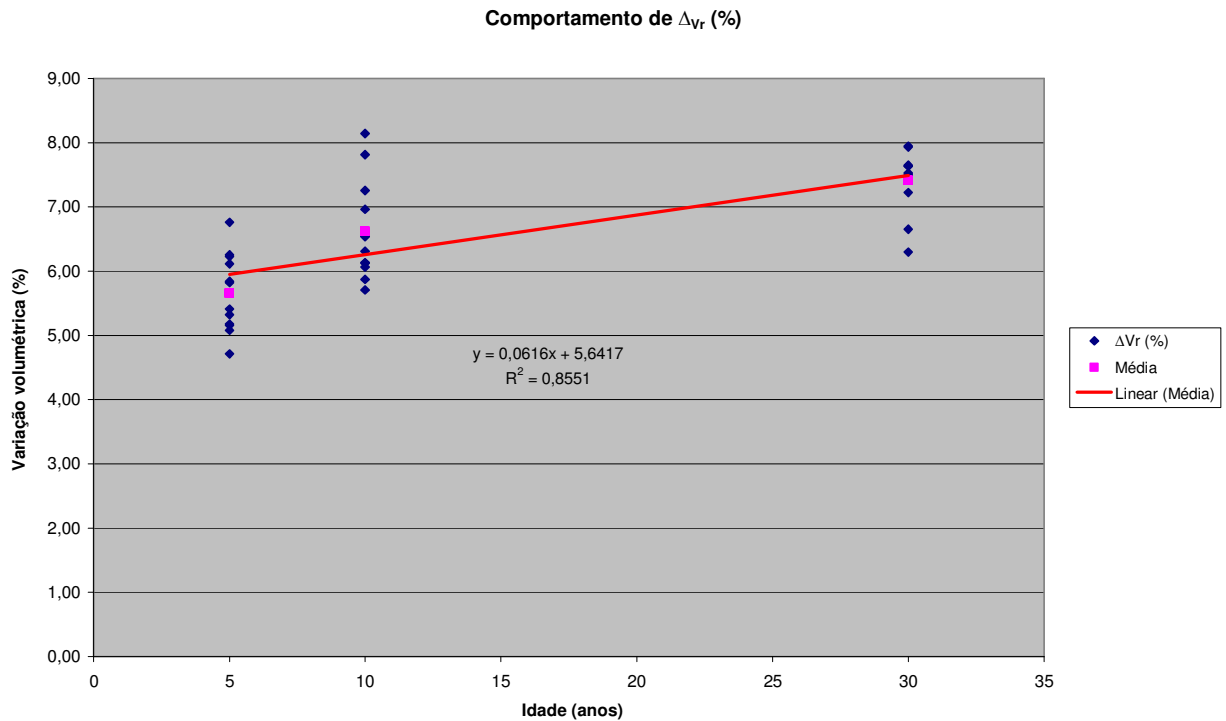


Figura 26 – Comportamento da variação volumétrica (%)

Conforme a Figura 26, os valores calculados para as idades, 15, 20 e 25 foram: 6,56, 6,87 e 7,18 (%), respectivamente, para a qual realizou o mesmo procedimento para a homogeneização dos dados. É possível constatar que a variação volumétrica tem uma relação direta com a idade, tendo uma boa correlação com a retração tangencial consoante citado acima.

Equação:

$$y = 0,0616x + 5,6417, R^2 = 0,8551$$

A Figura 27 expõe o comportamento do coeficiente de anisotropia de inchamento (A_i) com a idade:

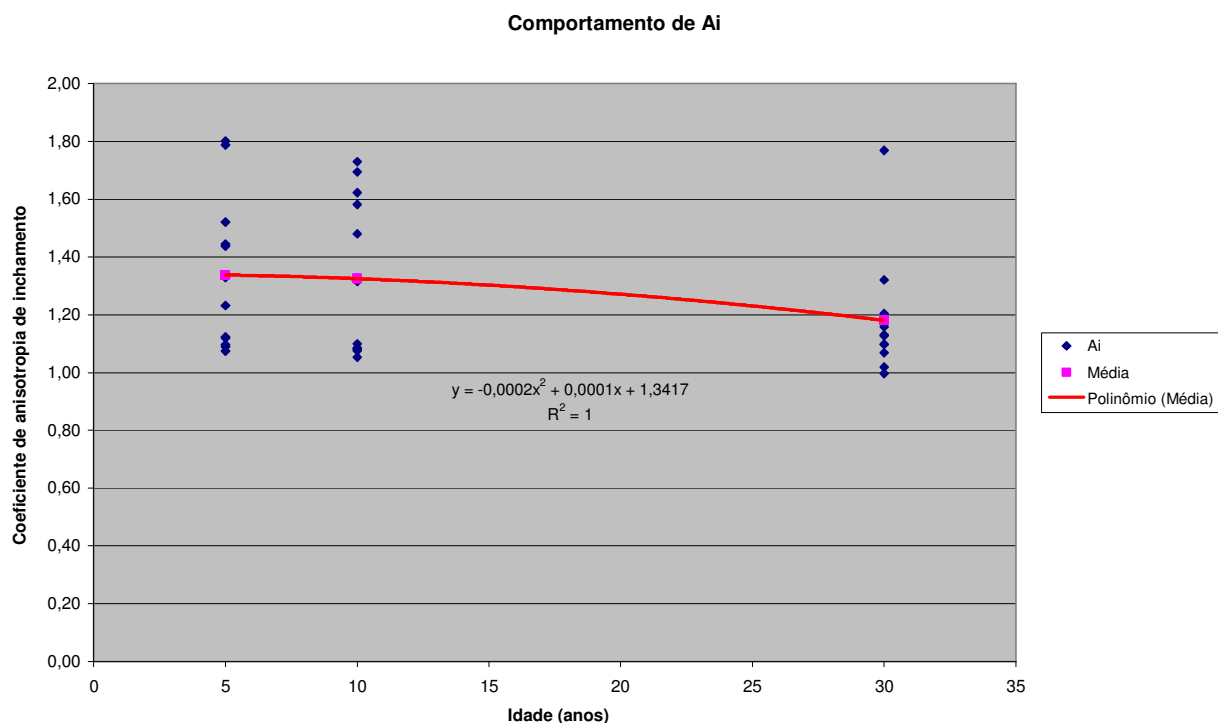


Figura 27 – Comportamento do coeficiente de anisotropia de inchamento

Para o gráfico acima, os dados foram homogeneizados também. Os valores computados para as idades foram respectivamente: 1,29; 1,26 e 1,21. Assim verificou-se que o coeficiente de anisotropia por inchamento com o coeficiente de anisotropia por retração teve valores próximos para as idades estimadas.

Para o cálculo dos valores referentes à idade adota-se a equação:

$$y = -0,0002x^2 + 0,0001x + 1,3417, \text{ valor de } R^2 = 1$$

O comportamento do coeficiente de anisotropia de retração (Ar) com a idade, é apresentado na Figura 28.

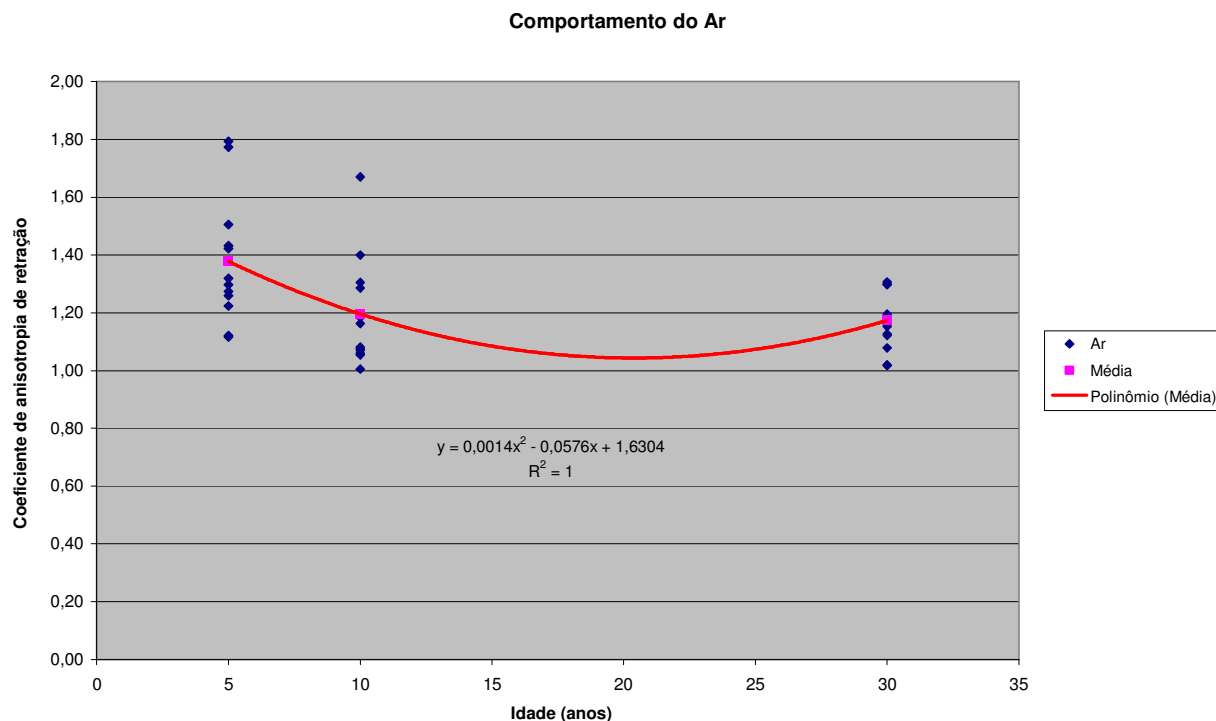


Figura 28 – Comportamento da anisotropia de retração

Os valores estimados para as idades foram respectivamente: 1,07; 1,03 e 1,06. Observa-se que o coeficiente anisotrópico de inchamento como o coeficiente anisotrópico de retração obteve os valores próximos para as idades estimadas. Para a Figura 28, a equação utilizada foi:

$$y = 0,0014x^2 - 0,0578x + 1,631, \text{ com valor de } R^2 = 1,$$

Coeficientes de anisotropia de contração baixos, oriundos de contrações tangencial e radial elevadas, revelam uma madeira com alta instabilidade dimensional (ROCHA, 2000).

No caso da Teca, observa-se baixo coeficiente de anisotropia oriundo de baixos coeficientes de retração tangencial e radial.

Destaca-se com isso que o fator anisotrópico, tomado de forma isolada, no entanto, não caracteriza uma madeira como sendo estável, causando, ao contrário, uma falsa sensação de estabilidade.

A Figura 29 seguinte, mostra a variação do teor de lignina (Lig).

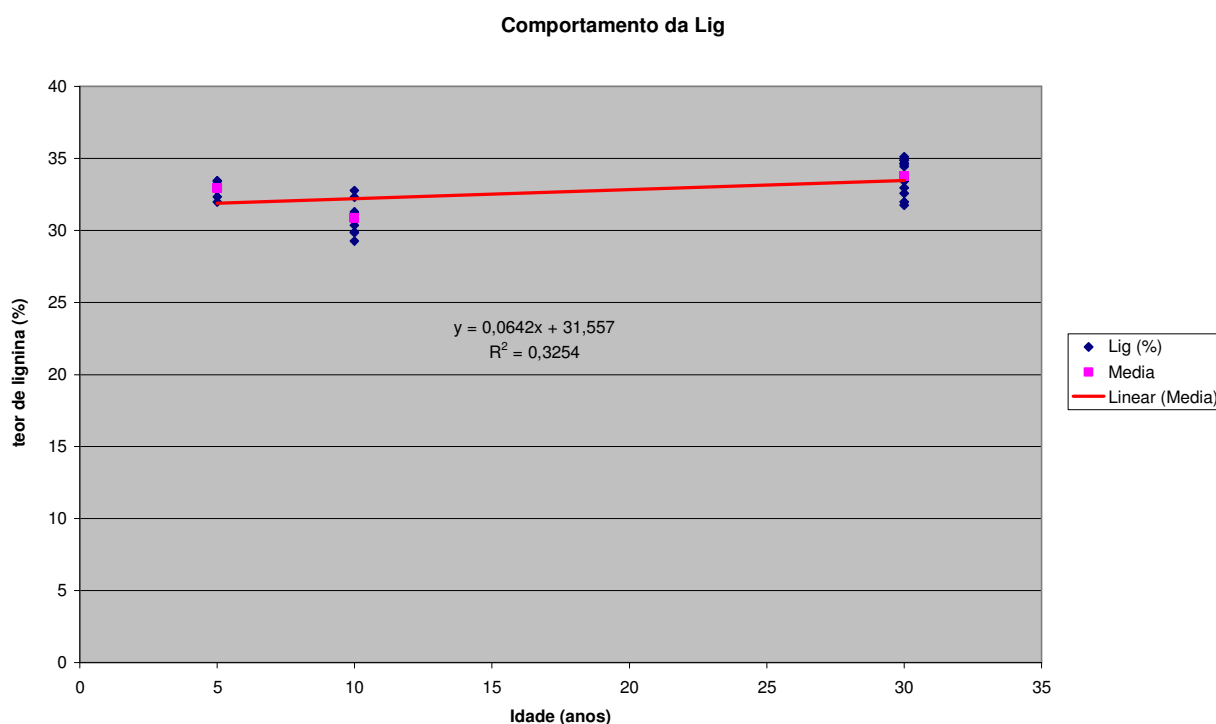


Figura 29 – Comportamento do teor de lignina.

A lignina é uma substância química que confere rigidez a parede celular e, nos elementos da madeira, age como um aglutinante permanente de ligação entre as células, gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e flexão. Os valores encontrados para as idades 15, 20 e 25 anos foram respectivamente: 32,52; 32,84 e 33,16 (%). Observa-se a obtenção de valores próximos entre as idades estimadas. O ajuste de um modelo polinomial à variabilidade tão pouca não faz sentido nessa situação, onde a variação linear empregada indica tão somente uma tendência ao crescimento. Em valores percentuais, apresentam-se com elevado teor se comparado com outras espécies. Explica-se pelo fato de sua obtenção ser com presença de extrativos, os quais podem variar de 3% a 8% .

A equação adotada foi:

$$y = 0,0642x + 31,557, R^2=0,3254.$$

5.3 Análise de Agrupamento

As Figuras 30 a 36 mostram a classificação da Teca nas três idades em relação a outras espécies, comparando os dados obtidos por Souza (1998), para a utilização das madeiras na indústria de móveis.

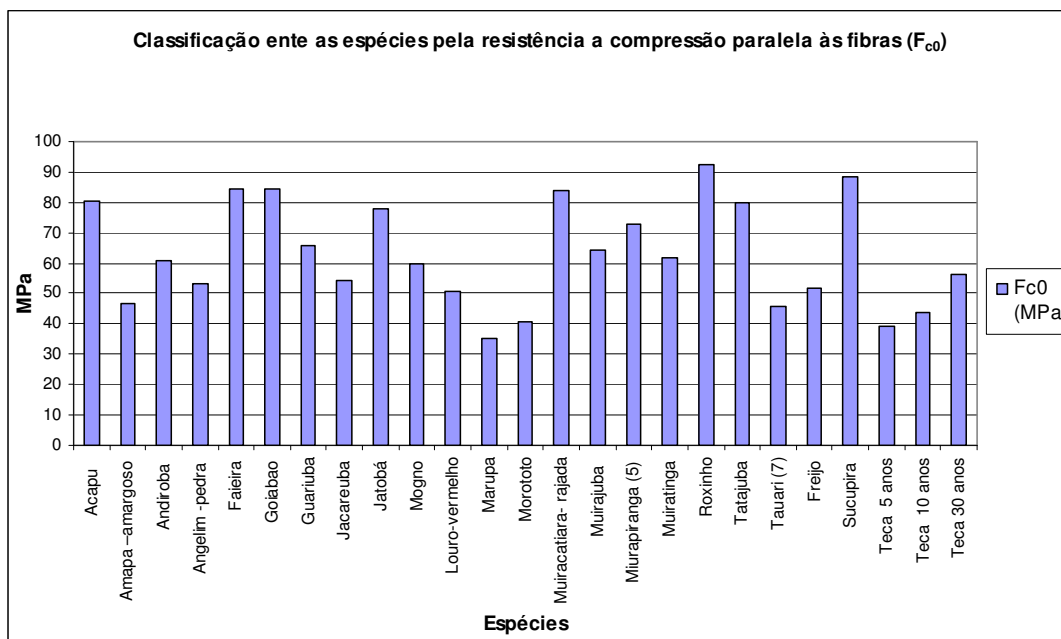


Figura 30 – Classificação entre diferentes espécies através da resistência a compressão paralela às fibras

A Figura 30 mostra a Teca agrupada com outras espécies avaliando a resistência compressão paralela às fibras. A de cinco anos situa-se no mesmo grupo de Morotó e Marupá. A de dez anos, no grupo de Tauari e Amapá-amargoso. Já a Teca de trinta anos está no grupo do Mogno, Muratinga, Freijo, Andiroba e Angelim.

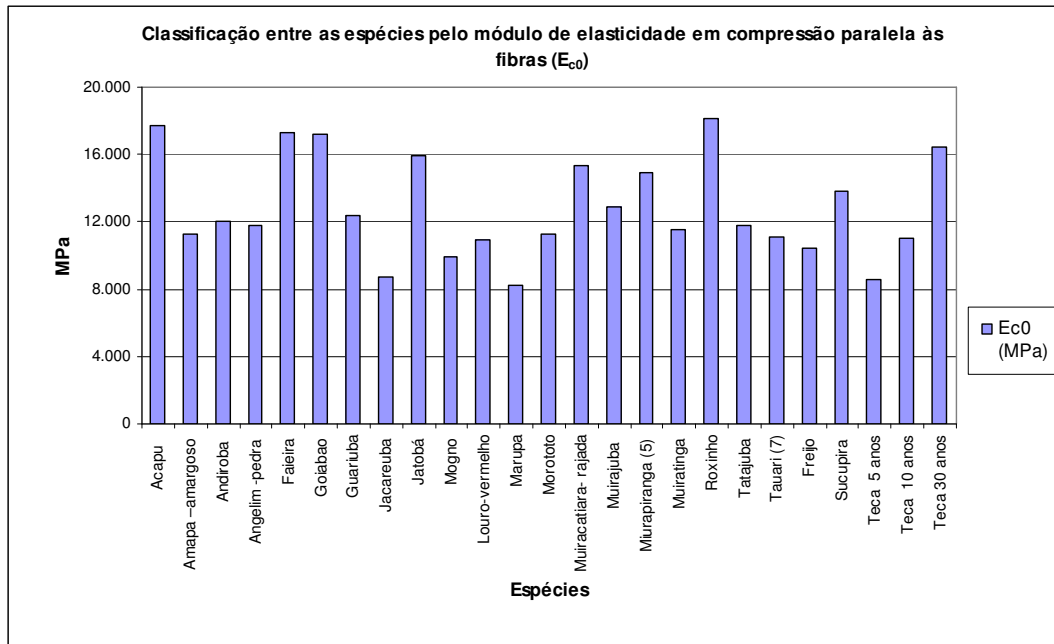


Figura 31 – Classificação entre diferentes espécies pelo módulo de elasticidade

A Figura 31, relativa à classificação quanto ao módulo de elasticidade, mostra a Teca agrupada com outras espécies, avaliando o módulo de elasticidade, estando a de cinco anos no mesmo grupo de Marupá e Jacareuba. A de dez anos está no grupo de Mogno, Amapá-Amargoso, Freijo, Tauri, etc. Já a Teca de trinta anos está no grupo da Sucupira, Roxinho, Jatobá, Faieira, Goiabão Acapu, sendo as melhores nessa propriedade.

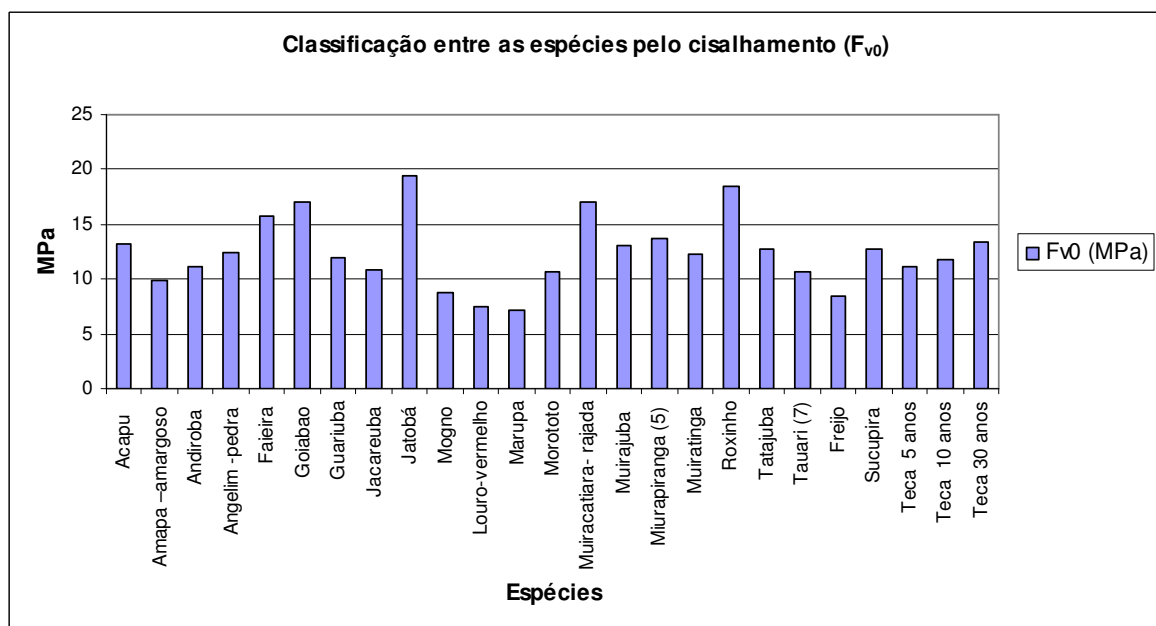


Figura 32 – Classificação entre diferentes espécies pelo cisalhamento

Na Figura 32, a Teca está agrupada com outras espécies conforme o cisalhamento, no qual as três idades tiveram mesmo comportamento juntando ao grupo da Sucupira, Jatobá, Andiroba, Angelim, etc.

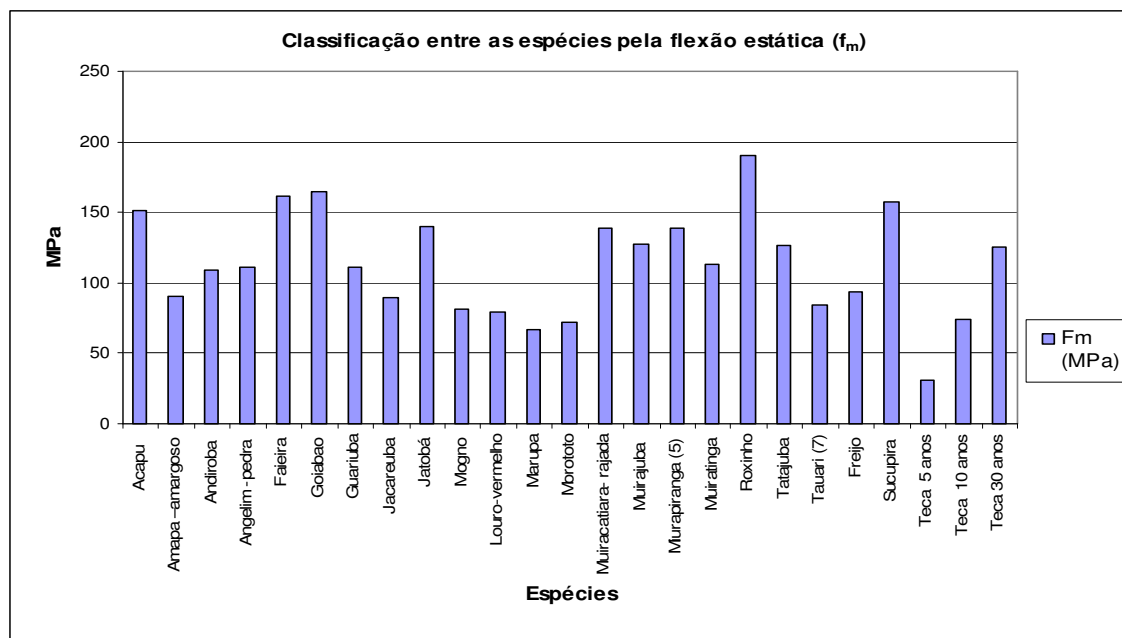


Figura 33 – Classificação entre diferentes espécies pela flexão estática

A Figura 33 destaca a espécie agrupada com outras sob o critério da flexão, tendo a Teca de cinco anos não sendo disposta em nenhum grupo, demonstrando sua fragilidade nessa propriedade. Entretanto, a de dez anos se encontra no grupo da Marupá e Morototó e a de trinta anos apresenta-se entre as melhores, no mesmo grupo de Muratinga, Jatobá, Acapu, Andiroba, Angelim-pedra, etc.

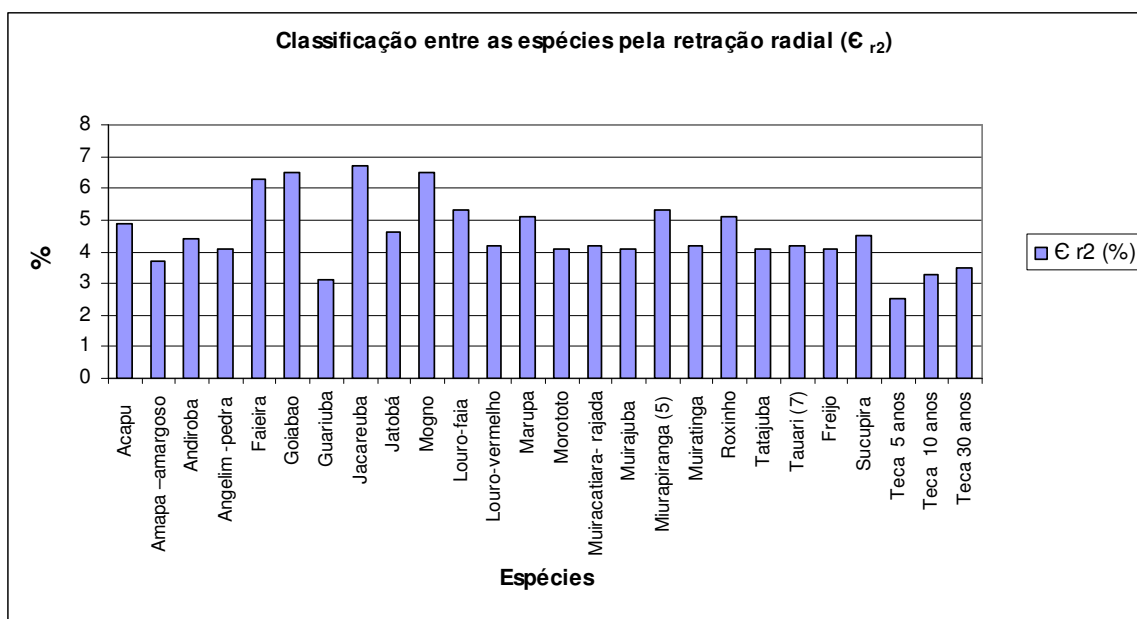


Figura 34 – Classificação entre diferentes espécies pela retração radial

Na Figura 34, a espécie se une a outras no que tange à retração radial. A Teca de cinco anos se apresenta fora das demais com menor escala de valores, constituindo-se, nesse caso, na melhor de todas. Já na idade de dez e trinta anos, foi classificada no mesmo grupo de Amapá-amargoso.

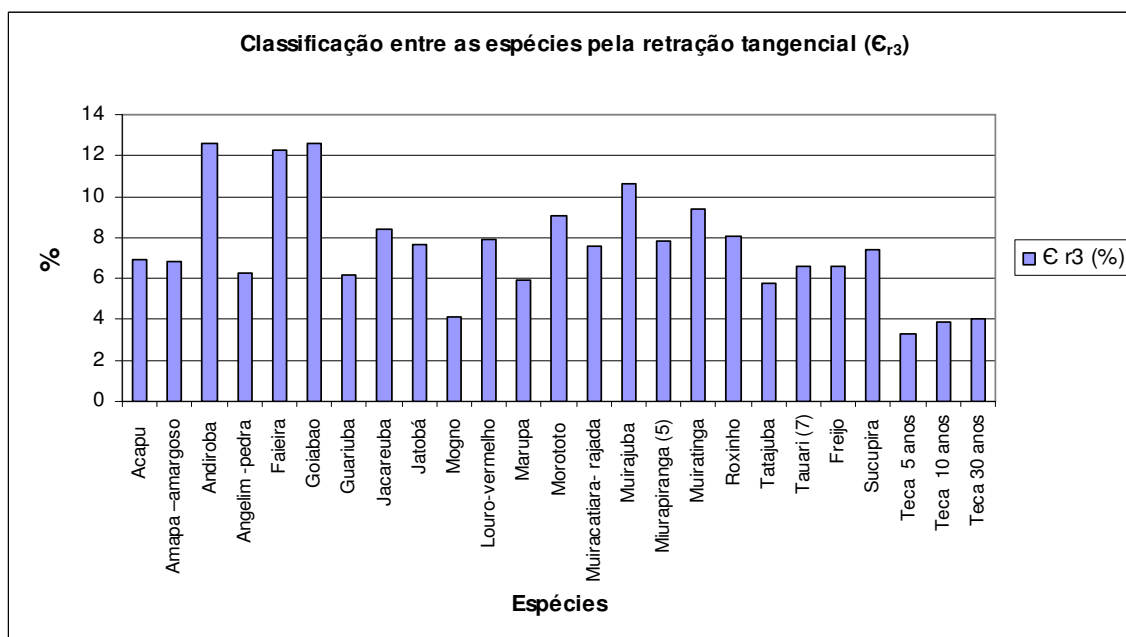


Figura 35 – Classificação entre diferentes espécies pela retração tangencial

A Figura 35 mostra a Teca em relação a outras espécies quanto à retração tangencial. Apresenta-se com valores inferiores aos das demais espécies, não se agrupando a nenhuma delas, o que evidencia que a Teca é mais estável na retração tangencial que as demais.

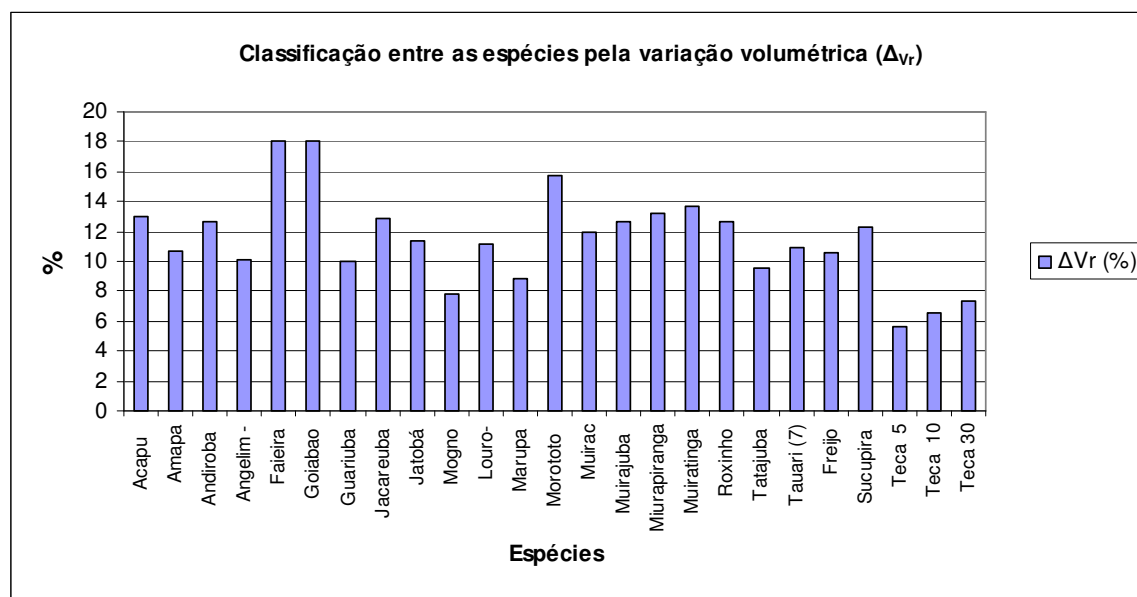


Figura 36 – Classificação entre diferentes espécies pela variação volumétrica

Em relação à Figura 36, a variação volumétrica na Teca une-se a outras nas três idades, na faixa de espécies como: Marupá e Mogno. Pela variação volumétrica as três idades se apresentam com melhor qualidade em relação às demais.

Quadro 26 - Classificação de diferentes espécies de madeira e seus diversos usos.

Adaptados de SOUZA (1998)

ESPÉCIE	USOS DIVERSOS
Acapu	Móveis, faqueados, construção naval, peças torneadas, tacos de bilhar construção civil etc.
Amapá –amargoso	Marcenaria, construção civil em geral, caixotaria, palitos de fósforo etc.
Andiroba	Construção civil: vigas, caibros, ripas esquadrias de portas etc.
Angelim -pedra	Móveis, marcenaria, torneados, assoalhos molduras construção civil e naval.
Faieira	Construção pesada, móveis, artigos decorativos, torneados e laminas.

Goiabão	Moveis e decorativos, torneados, tacos e construção civil.
Guariúba	Móveis, construção naval, construção civil, pisos etc.
Jacareúba	Marcenaria, móveis de luxo, cabos de ferramentas, construções externas e internas, compensados etc.
Jatobá	Construção civil em geral, móveis de luxo, dormentes, arcos de instrumentos musicais Etc.
Mogno	Móveis, acabamento e ornamentação de barcos, marcenaria, instrumentos musicais, laterais de escadas etc.
Louro-faixa	Móveis, laminas decorativas, peças decorativas, peças torneadas etc.
Louro-vermelho	Móveis, construções em geral, esquadilhas molduras e compensados etc.
Macacaúba	Móveis, marcenaria, tacos para assoalhos, tacos de bilhar, carpintaria e instrumentos musicais.
Marupá	Móveis, molduras, obras internas, instrumentos musicais.
Morototó	Construção leve, chapas, caixas e engradados, instrumentos musicais, palitos de fósforo.
Muiracatiara- rajada	Móveis de luxo, laminados, assoalhos, obras internas torneadas instrumentos musicais e objetos de adorno.
Muirajuba	Marcenaria, móveis, cabo de ferramenta, embarcações, postes e dormentes.
Miurapiranga (5)	Móveis de luxo, molduras, marcenaria em geral, construções internas e externas, dormentes, torneados etc.
Muiratinga	Construções gerais, móveis assoalhos etc.
Pau-rainha	Construção civil e naval, marcenaria, móveis finos e tornearia.
Roxinho	Marcenaria fina, dormentes, construção naval, tacos para assoalhos torneados etc.
Tatajuba	Construção naval, carpintaria, marcenaria, moveis, portas, etc.
Tauari (7)	Lâminas compensados, moveis, embalagens,
Freijó	Móveis, faqueadas decorativas, lambris, caixilhos, persianas, molduras, guarnições sarrafos, estruturas de hélices de pequenos aviões etc.
Sucupira	Móveis, folhas faqueadas, esquadilhas, acabamentos internos, assoalhos caibros vigas Cruzetas, dormentes etc.

CAPITULO 6

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Resultados relevantes foram alcançados observando-se que a caracterização da madeira de Teca não se pode fazer de forma isolada sem levar em consideração as mais jovens com a definição da idade.

Determinou-se uma forma de caracterização tecnológica da espécie *Tectona grandis*, a qual é feita, no mercado atual, de maneira empírica, baseada apenas em resultados determinísticos de algumas propriedades, sem especificação da idade.

A partir desses resultados, possibilita-se a classificação de uma produção florestal, com um controle de qualidade da espécie por região, pois se sabe que existem interferências significativas, por questões de clima, relevo, solo e na prática de manejo.

Os parâmetros mecânicos, considerados um dos mais importantes, apresentaram significativa correlação, particularidade na resistência à compressão paralela e módulo de elasticidade na compressão paralela, os quais apresentaram tendência de crescimento linear até os 30 anos. Na comparação entre as principais espécies nativas conhecidas, foram os parâmetros de maior significância, apresentando-se na categoria de maior desempenho para classificação e sua utilização em setores que demandam tais propriedades.

Confirmou-se para madeira de Teca, mesmo em diferentes idades, que a anisotropia determinada a partir de baixos coeficientes de retração radial e tangencial ficou próxima de um, que, por esse parâmetro, classifica-se a espécie como de excelente qualidade.

A densidade foi a variável que apresentou as melhores correlações com resistência à Compressão (f_{c0}) e Módulo de Elasticidade (E_{c0}), resistência à Tração (f_{to}) e Flexão (f_m), com os valores de r e P respectivamente: $r = 0,67$; $P < 0,001$; $r = 0,70$; $P < 0,001$; $r = 0,74$; $P < 0,001$; $r = 0,94$; $P < 0,001$. Ocorreu também nos valores do comprimento das fibras com uma significativa correlação;

Confirmou-se que a densidade foi um dos fatores mais expressivos para classificar a madeira. Comparada com outras espécies da mesma categoria de densidades medianas, se apresenta com valores significativos para as propriedades mecânicas classificando-a na faixa de boa para excelente qualidade.

Os valores de $\rho_{ap,12\%} \cong 0,66g/cm^3$ para idade 30 anos permite enquadrar a espécie em uma das classes de resistência, definidas na NBR 7190/97, e estimar a aptidão da madeira para uso estrutural. Já o valor da anisotropia na retração $A_r \cong 1,16$, permite estimar a propensão da madeira quanto a defeitos de secagem, sendo considerada de primeira qualidade.

No que se refere aos parâmetros anatômicos, destacam-se as dimensões de fibras, verificando que estes podem ser considerados indicadores para classificação preliminar da espécie ao se levar em conta as várias idades.

Estabeleceu-se uma forma de classificação com espécies nativas conhecidas, através de análise de agrupamento. Com essas madeiras obtiveram-se informações consideráveis quando comparadas pelas principais propriedades. A *Tectona grandis* produz madeira leve, com baixos coeficientes de retratibilidade e alta estabilidade. A sua madeira é adequada para desdobro e para produção de móveis. Em vista de sua média densidade, ainda é recomendada para produção de peças estruturais decorativas, atentando para as propriedades mecânicas e suas variações com as idades até 30 anos.

Há vários métodos de estimar a resistência da madeira. A Norma Brasileira adota coeficientes de segurança e sugere o uso do mesmo valor para toda a madeira de uma determinada espécie. A Norma Americana dá uma classificação visual para estimar a resistência de uma determinada peça (ASTM D-245).

No que se refere à obtenção dos postulados apresentados, pode-se concluir que:

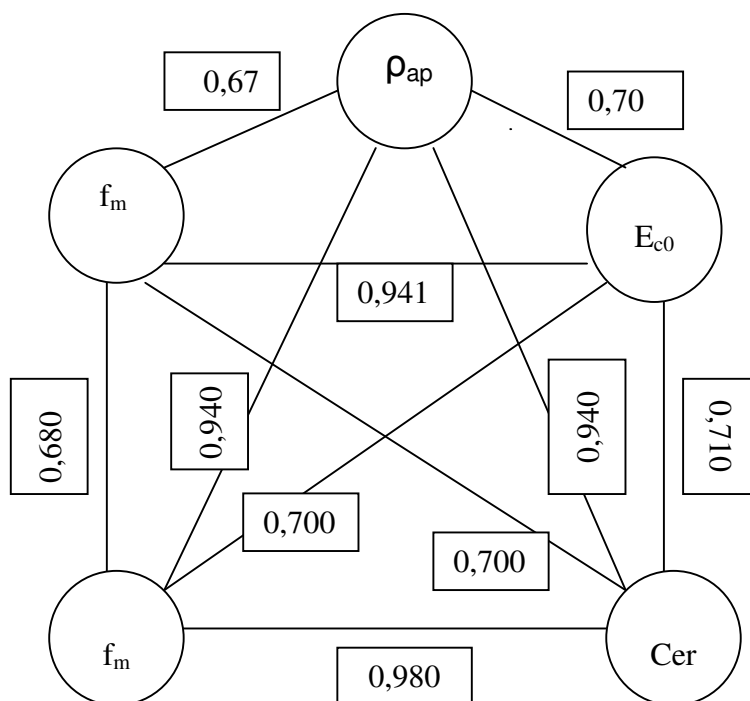
Houve comprovação de que as madeiras jovens desta espécie podem ser utilizadas em diversos segmentos do setor produtivo, desde que sejam consideradas as propriedades nas idades de extração para atender as solicitações específicas;

Confirmou-se que as melhores propriedades encontradas estão nos intervalos entre as idades de 25 a 30 anos.

Os resultados das correlações entre as propriedades, indicaram os principais parâmetros para a sua classificação;

As melhores correlações foram: Densidade (ρ_{ap}), módulo de elasticidade (E_{c0}), resistência compressão paralela (f_{c0}), resistência à flexão estática (f_m) e Cerne (Cer);

Diagrama de Correlação das Propriedades da Madeira de Teca



* Adaptado do modelo de Senft.

Para determinação das propriedades nas idades utilizam-se as equações obtidas nos gráficos de regressões. Os modelos servem para a espécie estudada, sendo que a metodologia poderá ser aplicada para avaliar outras plantações a partir da identificação das propriedades aos 5 e 10 anos.

Quando se considera uma variável correlacionada diretamente com outra de acordo com o diagrama, o modelo matemático fica expresso da seguinte forma:

Resistência à compressão paralela;

$$f_{c0} = 20,36554 + 0,002169 * E_{c0} \quad (01)$$

Modulo de elasticidade;

$$E_{c0} = -7088,57 + 411,4855 * f_{c0} \quad (02)$$

Resistência à flexão;

$$f_m = -9,0421 + 4,02093 * Cer \quad (03)$$

Varição de cerne;

$$\text{Cer} = 2,770845 + 0,240444 * f_m \quad (04)$$

Densidade;

$$\rho_{ap} = 0,500076 + 0,001329 * f_m \quad (05)$$

Em termos gráficos, o modelo matemático fica expresso da seguinte forma:

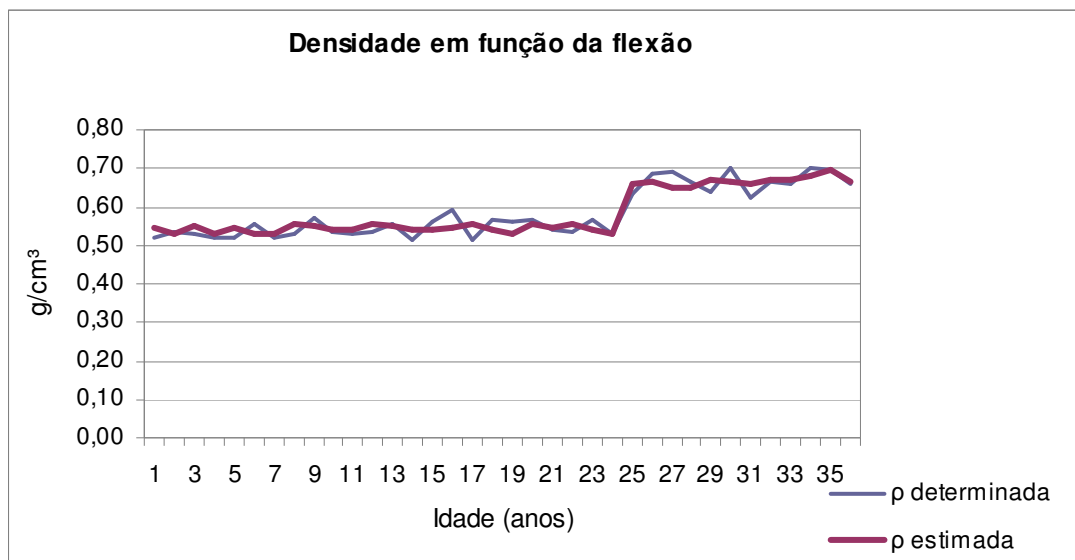
1- Densidade

Figura 37 - Comportamento da densidade em função da flexão

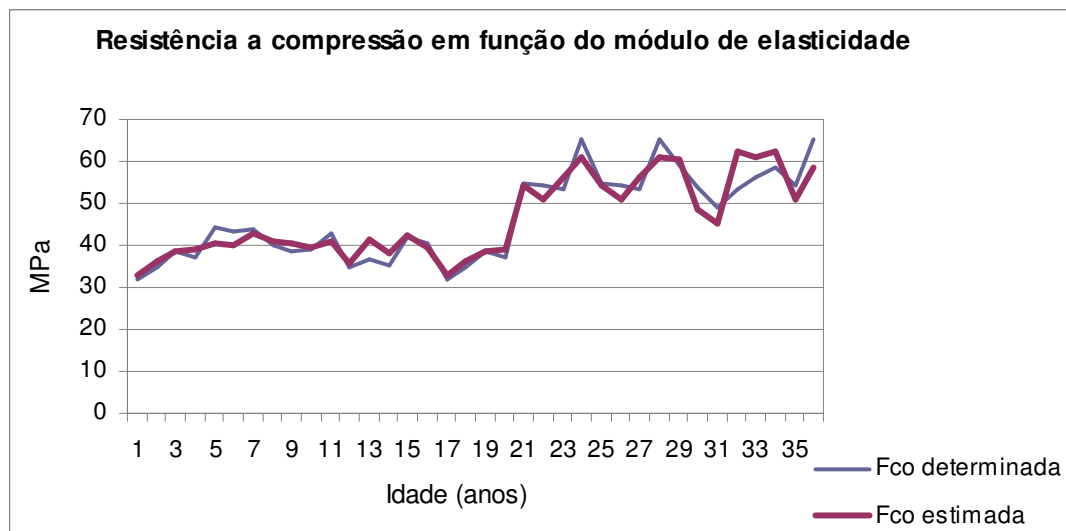
2- Resistência à compressão paralela

Figura 38 - Comportamento da resistência à compressão em função do módulo de elasticidade

3- Variação de cerne

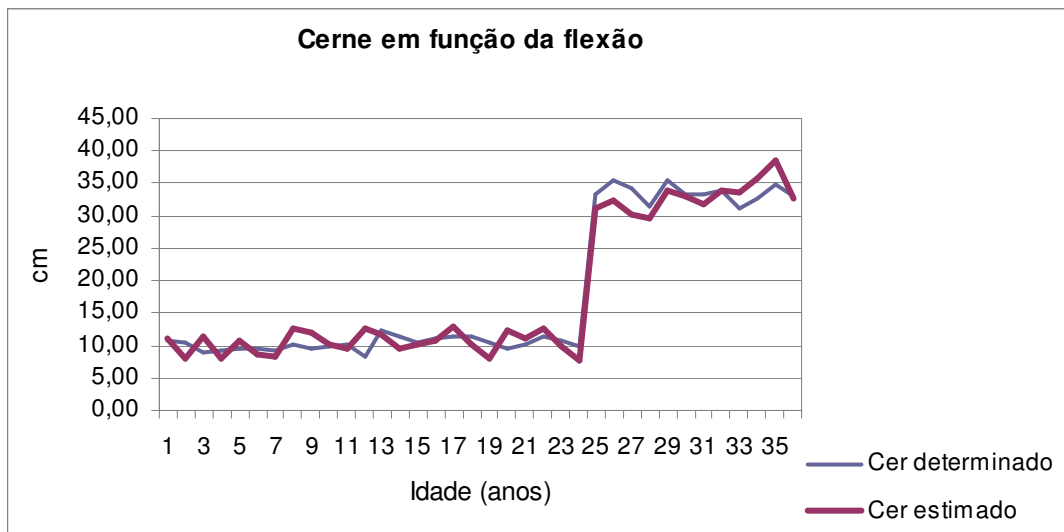


Figura 39-Comportamento do cerne em função da flexão

4 - Módulo de elasticidade

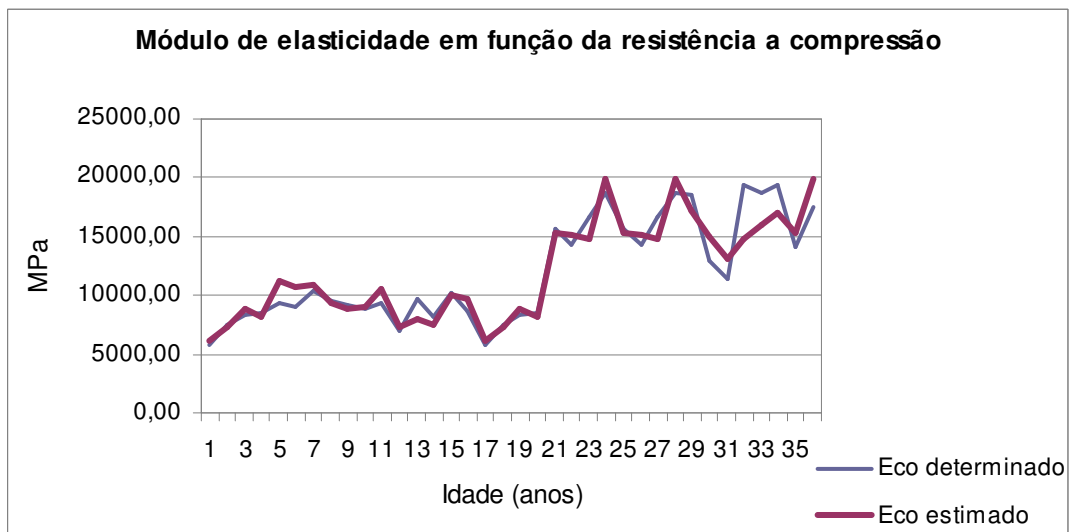


Figura 40 - Comportamento do módulo de elasticidade em função da compressão

5 - Resistência à flexão



Figura 41 - Comportamento da flexão em função do cerne

Por questão de auto-correlação, a associação observada no modelo é adequada e explica a relação de uma variável frente à outra. Verificando-se, entretanto, todas as variáveis independentes que apresentam a existência de correlação uma com as outras, pode-se obter através de uma múltipla correlação o modelo matemático da seguinte forma:

Resistência à compressão paralela;

$$f_{c0} = 21,21716 + 0,002115 * E_{c0} - 0,02067 * f_{t0} - 0,05202 * f_m + 0,286278 * C_{er} + 0,016879 * \rho; \quad (06)$$

Módulo de elasticidade;

$$E_{c0} = -8133,98 + 374,6751 * f_{c0} + 14,84292 * f_{t0} + 19,59759 * f_m - 76,3244 * C_{er} + 2391,393 * \rho; \quad (07)$$

Resistência à flexão;

$$f_m = -43,3953 - 0,26268 * f_{c0} + 0,000573 * E_{c0} - 0,10195 * f_{t0} + 3,711465 * C_{er} + 85,08448 * \rho + 0,87629 * \Delta_{vr}; \quad (08)$$

Variação de cerne;

$$C_{er} = -9,4713 + 0,089756 * f_{c0} - 0,00014 * E_{c0} + 0,029606 * f_{t0} + 0,201799 * f_m + 15,76709 * \rho - 0,00588 * \Delta_{vr}; \quad (09)$$

Densidade;

$$\rho = 0,473387 + 0,000000726 * f_{c0} + 0,000000581 * E_{c0} + 0,000226 * f_{t0} + 0,00067 * f_m + 0,002152 * C_{er}; \quad (10)$$

Varição Volumétrica:

$$\Delta_{Vr} = 1,925071 + 0,001587 * f_m + 0,019752 * C_{er} + 1,058413 * \rho_{ap} + 0,424163 * \epsilon_{r2} + 0,599199 * \epsilon_{r3} \quad (11)$$

Em termos gráficos, o modelo matemático obtido através de uma múltipla correlação fica expresso da seguinte forma:

1- Densidade

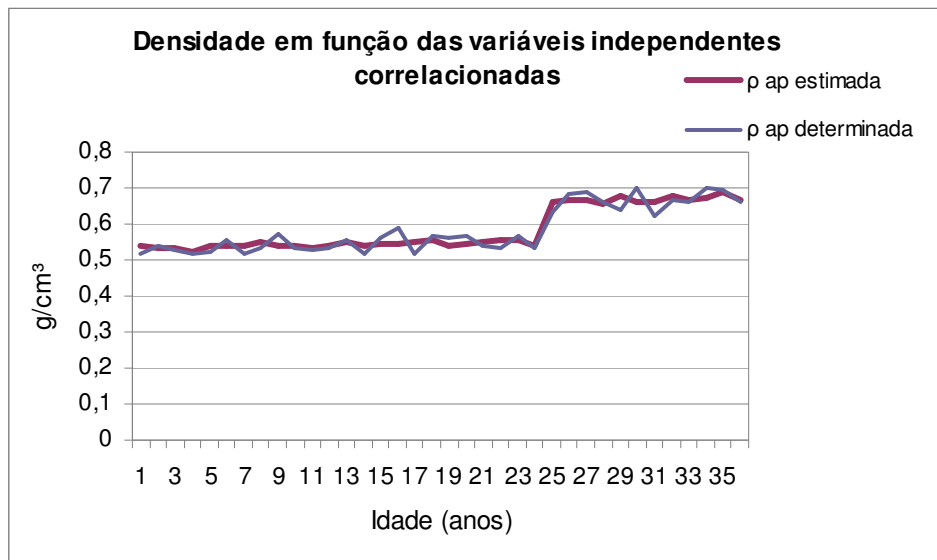


Figura 42-Comportamento da densidade em função das variáveis independentes

2 - Resistência à compressão paralela

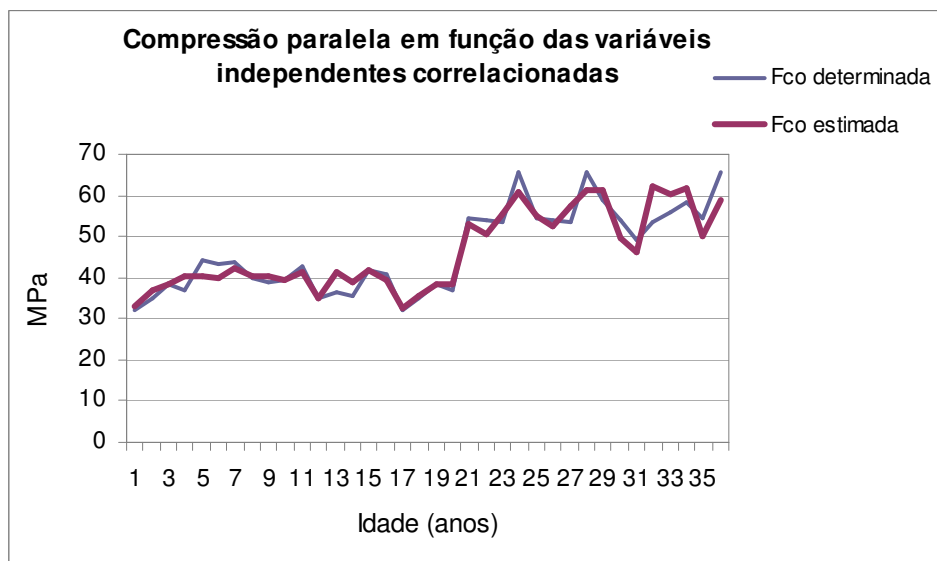


Figura 43 - Comportamento da compressão paralela em função das variáveis independentes

3 - Variação de cerne;

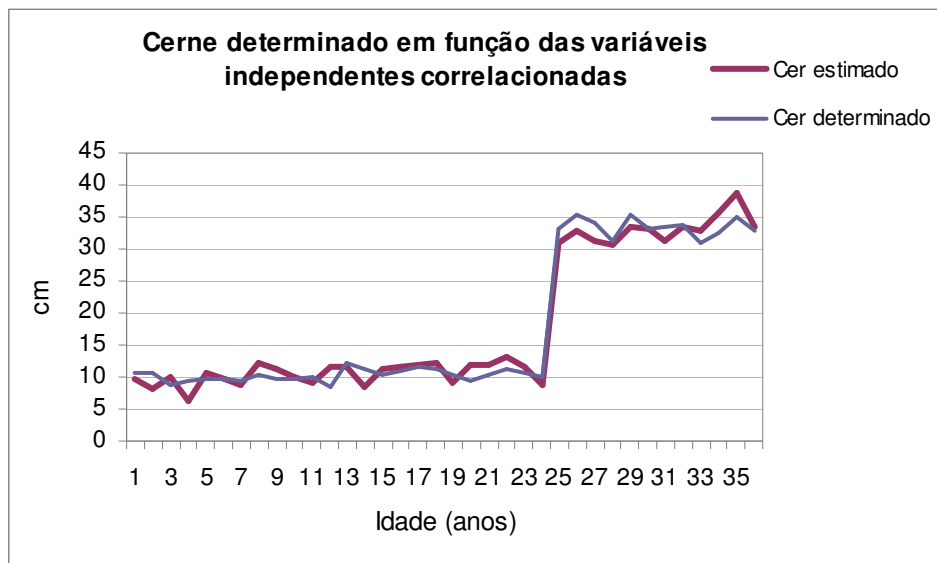


Figura 44 - Comportamento do cerne em função das variáveis independentes

4 - Módulo de elasticidade;

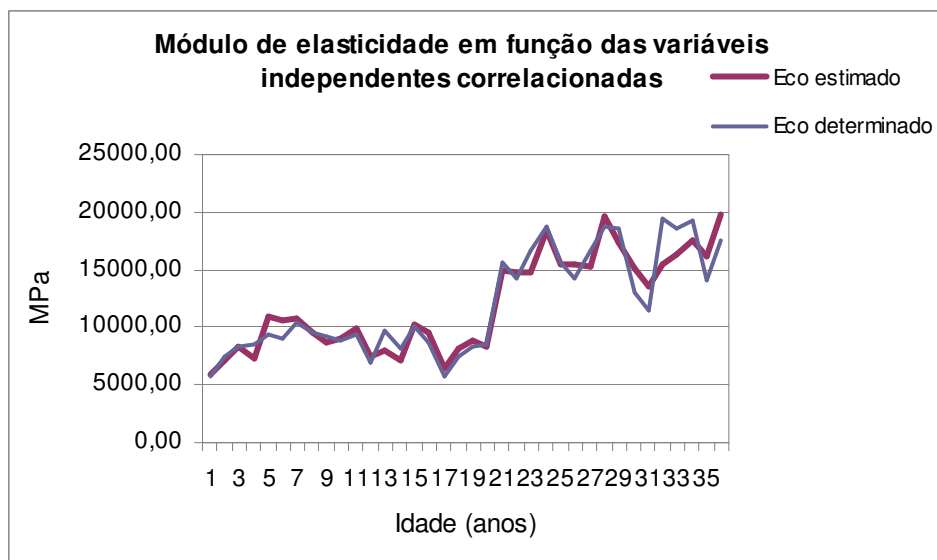


Figura 45 - Comportamento do módulo de elasticidade em função das variáveis independentes

5- Resistência à flexão;

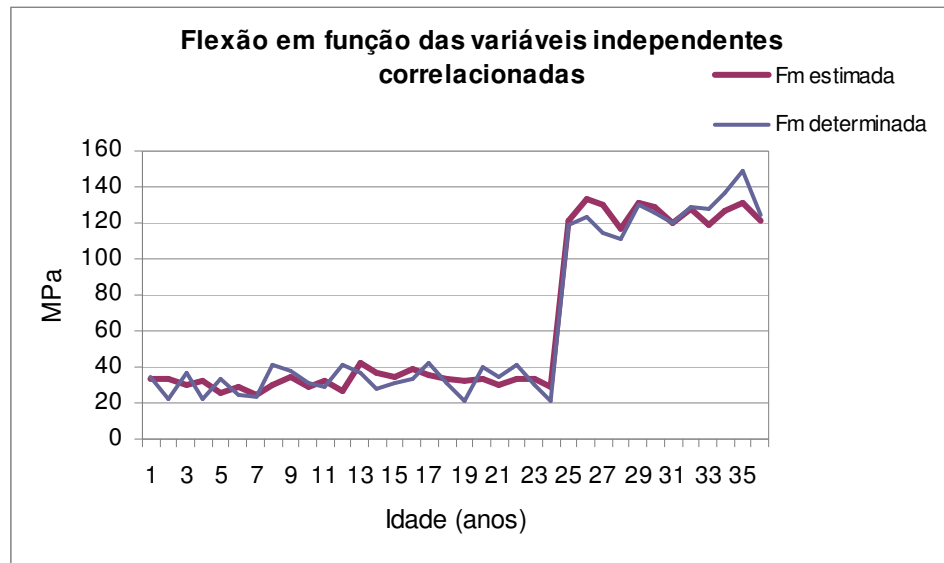


Figura 46 - Comportamento da flexão em função das variáveis independentes

6- Variação volumétrica;

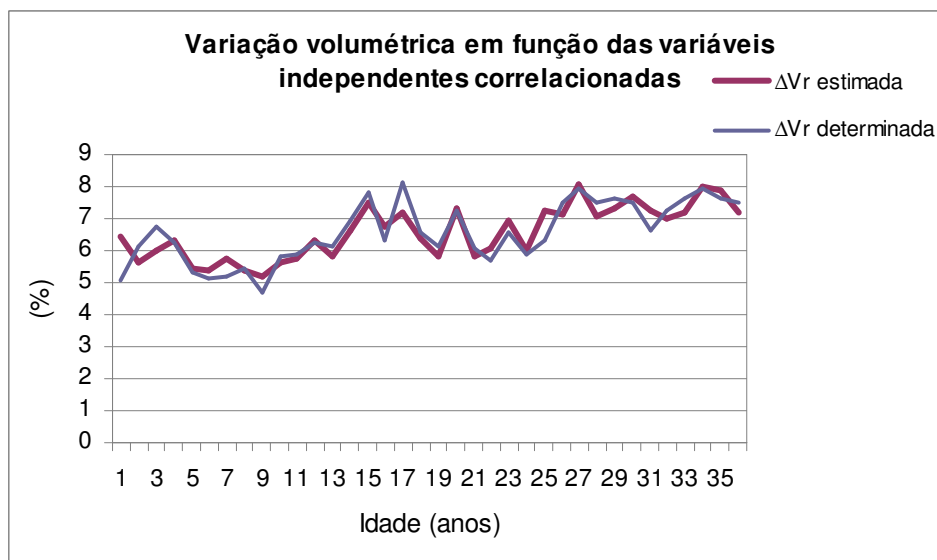


Figura 47 - Comportamento da variação volumétrica em função das variáveis independentes

Os modelos de estimação encontrados a seguir servem para a espécie estudada, sendo que a metodologia poderá ser aplicada para avaliar outras plantações a partir da identificação das propriedades aos 5 e 10 anos;

Modelos de estimação para os parâmetros melhores correlacionados.

Quadro 27 – Resultados das estimações para resistência a compressão paralela às fibras.

Idade	f_{c0}			
	Valores médios (MPa)	Equação de estimação	Valores obtidos pela equação (01) de correlação simples	Valores obtidos pela equação (06) de correlação múltipla
5	39,14	$y = (0,675x) + 36,284$ Onde, $x = \text{idade}$	39,00	39,00
10	43,69		44,22	43,88
30	56,40		56,01	56,33
	Estimação			
15	46,33		46,41	46,42
20	49,68		49,68	49,78
25	53,03		52,95	53,12

Quadro 28 - Resultados das estimações para módulo de elasticidade.

Idade	E_{c0}			
	Valores médios (MPa)	Equação de estimação	Valores obtidos pela equação (02) de correlação simples	Valores obtidos pela equação (07) de correlação múltipla
5	8590,8	$y = (301,7x) + 7482,2$ Onde, $x = \text{idade}$	9017	8776
10	10999,0		10889	11623
30	16433,2		16119	16412
	Estimação			
15	12007,7		11976	12254
20	13516,2		13354	13678
25	15024,7		14733	15112

Quadro 29 - Resultados das estimações para resistência à flexão estática.

Idade	f_m			
	Valores médios (MPa)	Equação de estimação	Valores obtidos pela equação (03) de correlação simples	Valores obtidos pela equação (08) de correlação múltipla
5	31,27	$y = (3,4385x) + 25,534$ Onde, $x = \text{idade}$	29,80	29,58
10	32,63		34,46	34,27
30	125,82		125,42	124,79
	Estimação			
15	77,11		63,05	62,73
20	94,30		83,16	83,06
25	111,50		103,26	103,38

Quadro 30 - Resultados das estimações para variação de cerne.

Idade	Cer			
	Valores médios (cm)	Equação de estimação	Valores obtidos pela equação (04) de correlação simples	Valores obtidos pela equação (09) de correlação múltipla
5	9,66	$y = (1,0029x + 2,9345)$ Onde, $x = \text{idade}$	10,29	9,67
10	10,82		20,62	19,40
30	33,44		33,02	32,88
	Estimação			
15	17,98		21,31	20,75
20	23,00		25,44	24,98
25	28,00		29,58	29,31

Quadro 31 - Resultados das estimações para a densidade aparente.

Idade	ρ_{ap}			
	Valores médios (g/cm ³)	Equação de estimação	Valores obtidos pela equação (05) de correlação simples	Valores obtidos pela equação (10) de correlação múltipla
5	0,53	$y = (0,0056 x + 0,5006)$ Onde, $x = \text{idade}$	0,54	0,54
10	0,55		0,60	0,57
30	0,66		0,67	0,67
	Estimação			
15	0,58		0,60	0,59
20	0,61		0,63	0,62
25	0,64		0,65	0,64

Quadro 32 - Variação (%) entre as equações estimadas

Propriedade	f_{c0}		E_{c0}		f_m		Cer		ρ_{ap}	
	Correl. Simples	Correl. Múltipla	Correl. Simples	Correl. Múltipla	Correl. Simples	Correl. Múltipla	Correl. Simples	Correl. Múltipla	Correl. Simples	Correl. Múltipla
5	0,0013	0,0013	4,222	1,812	0,0147	0,0168	0,0063	0,0001	0,0001	0,0001
10	0,0054	0,002	1,14	1,95	0,0183	0,0165	0,002	0,0019	0,0001	0
30	0,0039	0,0007	3,142	0,202	0,004	0,0106	0,0042	0,0056	0,0001	0,0001
15	0,0008	0,0009	0,317	0,447	0,003	0,0002	0,0007	0,0018	0	0
20	0	0,001	1,622	0,612	0,0022	0,0012	0,0022	0,0025	0	0
25	0,0008	0,0009	2,917	0,687	0,0029	0,0017	0,0026	0,0022	0	0

A relevância do estudo apresentado possibilita a classificação de uma produção florestal, com um controle de qualidade da espécie por região. O modelo permite antecipar conhecimentos sobre o produto a partir dos 10 anos de implantação. Podem-se estimar as propriedades de resistências, suas aplicações e quantificar volumes para a comercialização.

Constitui-se, desta forma, em alternativa para plantios na região mesmo com espécies exóticas, mas tropicais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASIAN TIMBER. **Malaysia to spend US\$985million on Forest Management**. September issue, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7190/97 e MB-26/40: Ensaaios físicos e mecânicos da madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL/ABTCP, **Normas técnicas**. São Paulo, SP, ABCTP. 1974.

AMARAL, D.L.; FONZAR, B .C In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. folha SD-21. Cuiabá. Rio de Janeiro: Secretaria Geral, 1982. p.329-372 il. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

ANDRADE, M.C.D. **Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex.Maiden**. 1987. 43f. Dissertação Mestrado - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, Botucatu (SP), 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. – **Annual book of A.S.T.M. standards** - Section 4: Construction, Philadelphia. 1994, v. 4, t. 9.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM - Annual book of ASTM standards - **Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood Base Materials** ASTM D 1666-87, Philadelphia: 1995, v.4, t. 10, p. 226-245.

ASHLEY, P.N.; OZARSKA, B. **Furniture from young, plantation eucalypts**. In: THE FUTURE OF EUCLYPTUS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings**. Launceston : IUFRO, 2000. p. 176-184.

BAMBER, R.K. & HUMPHREYS, F. R. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex.Maiden, Madison, **Wood and Fiber Science**, v. 11, p. 63-70. 1963.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A . J. “**Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp*”**. Silvicultura, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-731. 1983.

BLAND, D. E. The Relation of lignin and polyphenol contents of Tasmanian Alpine Ash (*Eucalyptus delegatensis* R.T. Blake) to shrinkage and recovery, **Wood Science Technology**, Madison, v. 5, p. 17-26. 1971.

BODINI, M.C.P.; LOGSDON, N. B.; MENDOZA, Z. H.; FINGER, Z.; **Caracterização dendrológica, física e química da madeira de carvão-vermelho, *diptychandra aurantiaca* (mart.) tul.** IBRAMEM. São Carlos, SP. Set/Dez. 2000.

BONDUELLE, Arnaud. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 11, n. 61, p. 82-86, 2001.

BOUVET, J. Effect of spacing on juvenile growth and variability of eucalyptus clones. **Canadian Journal of Forestry Research**, Montreal, 27, p.174-179, 1997.

BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.B. **Natureza e propriedades dos solos**. 5.ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1979.

CALORI, J. W.; FIER, I. S. N.; KIKUTI, P. Estudo das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 5, 1995, Belo Horizonte.**Anais...** Belo Horizonte: EBRAMEM-EESC/USP, 1995. 116p.

CHAFE, S. C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. Berlim, **Wood Science and Technology**, v. 21, p.27-41.1987.

CHIMELO, J.P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods.** 1980. Tese Doutorado - Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, 1980. 206p.

CHOONG, E. T. Effect of extractives on shrinkage and other higroscopic of ten southern pine woods. Madison, **Wood and Fiber Science**, v. 1, n. 2, p. 124-133. 1969.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT – 1974. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas.** COPANT, v. 30, p. 1-19.

COSTA, E. M. **A madeira de eucalipto na indústria moveleira.** In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996. Curitiba. **Anais.** Curitiba: ABPM/ SBS, 1996. p. 75.

DADSWELL, H. E. **The anatomy of eucalypt wood.** Melbourne, Forest Products Laboratory, CSIRO, n. 66, p. 1-28. 1972.

DADSWELL, H. E. - Tree growth-wood property inter -relationships. In: SPECIAL FIELD INSTITUTE IN FORESTRY BIOLOGY - **Proceedings...** 1960. p. 3-86.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Composição química dos materiais lignocelulósicos.** In: CELULOSE E PAPEL – TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DA PASTA CELULÓSICA. IPT, v. 1. 1988, p. 45-106.

DELLA LUCIA, R. M.& VITAL, B. R. Características físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 4, n. 1, p. 70-74. 1980.

DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de três regiões do tronco de *Eucalyptus saligna* SM. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 7, n. 1, p. 71-75. 1983.

DÉON, G. **Manual de Preservação de Madeiras em Clima Tropical** Nogent. Sur Marne, França, Centre Technique Forestier Tropical, ITTO, 1989, 116p (Série Técnica, 3).

DINWOODIE, J. M. **Growth stresses in timber: a review of literature**. Forestry, London, v. 39, n. 2, p. 162-170. 1966. 138

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

EDWARDS, D. W. **Defects of fast-grown eucalypts in New South Wales**. In: IUFRO MEETINGS DIVISION, 5, 1973, Pretoria, **Proceedings...**, Pretoria, IUFRO. 1973. v. 2, p. 256-270.

ELEOTÉRIO, E. S. R. **Levantamento e identificação de cupins (Insecta: Isoptera) em área urbana de Piracicaba, SP** Piracicaba (SP), 2000. 102f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo). São Paulo, 2000.

ENGLERT, G.H. **Framework of qualitative relationship in wood utilization**. "Madison, Forest Products Laboratory," Research Paper FFP 45. 1966, 16p.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3, **SILVICULTURA**, São Paulo 1978, v. 14, n. 14, p. 148-152,.

FERREIRA, J.C.V. **Mato Grosso e seus municípios**. Cuiabá: Secretaria de Estado da Cultura, 1997. 668p.

FIGUEIREDO, E. O. et al. Análise Econômica de povoamentos não desbastados de *Tectona grandis* L.f., na microrregião do baixo Rio Acre. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 342-353, out./dez. 2005.

_____ **Avaliação do crescimento da Teca (*Tectona grandis* L.F.) pela análise de tronco**. Instruções técnicas Embrapa, nº. 35, p.1-4, Junho 2001.

FOREST PRODUCTS LABORATORY- **Wood handbook**. Washington, 1974. 400p.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. **Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método klason modificado**. O Papel, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36–38. 1986.

GÉRARD, J. et al. “**Qualité du bois chez les Eucalyptus de plantation – Etude de variation de trois propriétés de référence.**” **Bois et Forêts des Tropiques**, Nancy, n. 245, p. 101-111, 1995.

HANS, A. S.; BURLEY, U. Wood quality of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden in a fertilizer trial at Siamambo, Zambia. **East African Agricultural and Forestry Journal**, Nairobi, v. 38, n. 2, p. 157-161, 1972.

HASE, H.; FOELSTER, H. Impact of plantation forestry with teak(*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. **Forest Ecology and Management**, n.6, p.33-50, 1983.

HAYGREEN, J.G., BOWYER, J.L., 1982. *Forest products and wood science*. Iowa State University Press, 495 pp.

HILLIS, W. E **Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries**. New York: Academic Press, 1962. 513 p.

HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. (Eds.) **Eucalypts for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978. 434 p.

IMAZON. Disponível em < <http://imazongeo.org.br/>>. Acesso em Abril 2007.

INPE, (2005). Disponível em < <http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em Abril 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. **Métodos de ensaios e análise em preservação de madeira: ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae)**. São Paulo: 1980. 1 p. (Publicação IPT, 1157)

JANKOWSKY, I. P. **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira.** Piracicaba (SP), 1979. 87f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo) São Paulo, 1979.

JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 65, p.120-129, 2004.

KIKUTI, P.; FIER, I. S. N.; CALORI, J. V. **Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade.** In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996, Curitiba. **Anais.** Curitiba:ABPM/ SBS, 1996. p. 53-58.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi*** H. E. Moore. 2000, 275f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

KNIGGE, W. & KOLTZENBURG, C. 1965. The influence of timber qualities and ecological conditions on the cell sizes and on the proportions of types of cell in hardwoods in the temperate zone. **Proceedings... IUFRO 2:** 1- 24.

KOLLMANN, F.F.P. & CÔTÉ Jr, W.A. **Principles of wood science and technology.** New York : Springer Verlag, 1968. 592 p., v. 1 : Solid wood.

KUCERA, B. **A hypothesis relating current annual eight increment to juvenile wood formation in norway spruce.** Madison, Wood and Fiber Science, v. 26, n. 1, p. 152- 167. 1994.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos.** Eschborn: GTZ, 1990. 343p.

LATORRACA, J.V.F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira.** 2000. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LELIS, A. T. Termite problem in São Paulo city Brazil. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL UNION FOR THE STUDY OF SOCIAL INSECTS, 12., 1994 Paris, Proceedings..., Paris: IUFRO,1994, p. 34-39.

LELLES, J. G.; SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* sp. nas fases de desdobro e de secagem. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 62-69, 1997.

LEPAGE, E. S. **Química da Madeira**. In: MANUAL DE PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS., São Paulo: IPT, 1986. p 69-97

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus Microcorys* F. Muell e *Eucalyptus Pilularis* Sm.** Viçosa (MG), 1995.106f. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1995

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** 1993. 275f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná), Curitiba, 1993.

LYPTUS-**Recomendações técnicas de usinagem, colagem e acabamento.** 17p. 2002 (folder).

LOGSDON, N. B. **Estabilidade dimensional: sugestões para revisão da NBR 7190/97.** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 8. Cd-rom, Arquivos/Trabalhos pdf/EB012.08.pdf. IBRAMEM/FECIV-UFU. Anais . Uberlândia, MG. 2002.

MALENDE, H.Y.; TEMU, A. Site-index curves and volume growth of teak (*Tectona grandis*) at Mtibwa, Tanzania. **Forest Ecology and Management**, n.31, p.91-99, 1990.

Manual da Cáceres Florestal 1997. Disponível em

< <http://www.woodfibre.com/trade/aa902914.html>> . Acesso em maio de 2004.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia Peregrina Benth*)**. 1992. 94f. Dissertação (Mestrado, Centro de Ciências Agrárias) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992

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.

MATEUS, T. J. E. **As características das madeiras nas relações com as aplicações**. Lisboa. Instituto de Produtos Florestais, 1977. p. 11-19 (Boletim Técnico, 14).

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L** 1997.117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATRICARDI, W.A.T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.F.) cultivada na grande Cáceres – Mato Grosso**. 1989. 135f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agronomia Luis de Queiros). Piracicaba. 1989.

MAY, P.H. & VEIGA NETO, F.C. (2000) **Barriers to certification of forest management in the Brazilian Amazon: the importance of costs**. Rio de Janeiro: Instituto Pró-Natura, International Institute for Environment and Development – IIED, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Disponível para download no site: www.pronatura.org.br/en/projects/

MAY, P., BARBOSA A. e VEIGA NETO F.C. 2000. **O Papel do Setor Privado no Gestão Florestal: Opções para Mato Grosso**. Relatório Final. Rio de Janeiro:Pró-Natura/ Londres: IIED/ Brasil: Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEMA).

MAZZEI, F. M. & OVERBECK, W. **Investigação da influência da idade nas características físicas e químicas do lenho e das pastas celulósicas de *Eucalyptus saligna***. IPT, São Paulo, v. 758, p. 1-26. 1966.

MELLO, G. R. **Processamento mecânico de madeira**. Piracicaba, IPEF, 1978. 88p.

MENDONZA, I. E. L. Experiencia chilena en el utilization de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT/IUFRO/LCF-ESALQ-USP. 1995, p.92-108.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira.** 1999, 107f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais,) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MOREY, P. R. **O crescimento das árvores.** São Paulo: EDUSP, 1981. 78p.

OHBAYASHI, H.; T. SHIOKURA. **Anatomical structure of fast-growing tropical tree species with differing growth rates.** AIWA Bull. 10: 342–343 (Abstract), 1989

OLIVEIRA, E. et al. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden,** Boletim Técnico da SIF, Viçosa (MG), n. 2, p. 1- 9, 1990. 143.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** 1997. 2v., 429p. Tese (Doutorado, Escola Politécnica) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4a ed. New York, McGraw Hill, 1980, 722p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** Piracicaba/SP, ESALQ, 2000, p.477.

PONCE, R. H. Novas tecnologias de desdobro e beneficiamento de madeira: a busca da competitividade. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993, p. 310-314.

PEREIRA, J.A.A.; BOTELHO, S.A.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; DAVIDE, A.C. Análise das correlações entre fatores de sítio e crescimento de espécies arbóreas por meio da aplicação de análise de componentes principais (PCA) In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, MANEJO DE ECOSSISTEMA E MUDANÇAS GLOBAIS, 3., 1986, Brasília. Anais... Brasília:1986. p.400-431.

Prodeflora, 2000. **Programa de Desenvolvimento Florestal do Estado de Mato Grosso**. Mato Grosso: Secretaria de Agricultura e Assuntos Fundiários.

PHENGKLAI, C. "*Tectona grandis*". Net. nov. 1997. Disponível em: <<http://www.bib.wau.nl/prosront/tectona.html>> Acesso em 15 jul. 1999.

RANATUNGA, M.S. A study of the fibre lengths of *Eucalyptus grandis* grown in Ceylon. **Ceylon forester**, 6: 101-12, 1964.

Revista da Madeira nº. 64 - Ano 11 - maio 2002 disponível em <<http://www.remade.com.br/revista/materia.php?edicao=64&id=164>>. Acesso em maio de 2004.

REFLORA, 1997. Disponível em <<http://paginas.terra.com.br/negocios/reflora/Empresa.htm>> . Acesso em maio de 2004.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba (SP), v. 30, p. 37-41, 1985. 144

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. "**Variação da densidade básica da madeira em espécies/ procedências de *Eucalyptus spp.***" Piracicaba (SP), v. 46, p. 76-85, 1993.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil – manual de dendrologia-** 2.ed., São Paulo. Ed. E. Blucher., 1981. 381p.

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

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias. 2000. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

RUDMAN, P.; GAY, F.J. Causes of natural durability in timber and causes of variation in the termite resistance of jarrah (*Eucalyptus marginata* Sm.) Berlim, *Holzforschung*, v. 21, p. 21-3. 1967.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia** 1998. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SANTOS, F. L. C. **Qualidade da madeira de eucalipto para produtos sólidos**. Viçosa, MG: DEF/UFV, 1997. (não publicado).

_____ Perspectivas do mercado nacional de madeiras reflorestadas oriundas de florestas plantadas. In: SIMPÓSIO IPEF-A REENGENHARIA E SEUS IMPACTOS NO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DO SETOR FLORESTAL,4, **Anais**. São Pedro: IPEF, 1996, v. 3, p. 31-52.

SARDINHA, R. M. A. Wood properties variation of *Eucalyptus saligna* from Angola. **Anais**. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, p. 105-124, 1979.

SEABRIGHT, D. Wood chemistry – the essential ingredients. **Asian Timber**, v. 14, n. 2, p. 33-34, 1995.

SELLA, R. L. Técnicas silviculturais e de exploração para a obtenção de madeira de qualidade para a laminação e serraria. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO:TENDÊNCIAS E USOS. **Anais**, Curitiba: FUPEF. 2001, p.19-24.

SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996. **Anais**. Curitiba, ABPM/ SBS, 1996, p. 91- 96.

SENFT, John F. & STANLEY K. Suddarth - A new approach to stress grading of lumber. **Forest Product Journal**. Madison, Wis. Apr. 1962.

SERPA, F. G. **Cupim, uma ameaça a Olinda, patrimônio da humanidade**. São Paulo: ABPM, 1986. (Boletim ABPM,40). 145

_____ **Org. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 1999. 370p.

SILVA, J. R. M. et al. Análise quali-quantitativa da usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador. **Anais** .Salvador: IUFRO, 1997, p. 32-35.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais/ Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Anais** Salvador, IUFRO, 1997, p. 269-275.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus***. 1990. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse, NY: Syracuse University Press; 1972.

SOUZA, M. H. Incentivo ao uso de novas madeiras para a fabricação de Móveis. 2 ed. Brasília: IBAMA: 1998

SZÜCS, C. A.; NETO, A. B.; GROHMANN. S. Z.; LA ROVÉRE, Henriette Lebre. Proposta de ensaio para cisalhamento paralelo às fibras da madeira. In: VI ENCONTRO

BRASILEIRO DE MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1998, Florianópolis/SC. Anais... Florianópolis/SC: UFSC, 1998

TANAKA, N.; HAMAZAKI, T.; VACHARANGKURA, T. Distribution, growth and site requirements of teak. **Japan International Research Center for Agricultural Sciences**, v.32, n.1, p.65-77, 1998.

TOMAZELLO FILHO, M. **Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil**. IPEF, Piracicaba, v. 29, p. 25-36. 1985a.

_____ **Formação e variação da estrutura de madeira de *Eucalyptus***. Piracicaba: ESALQ/DCF, 1988. 30p.

_____ **Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis***. IPEF, Piracicaba, v.29, p.37-45, 1985b. 146

TRUGILHO, P. F. **Influência da idade e das características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna***. CERNE, Lavras (MG) v. 2, n. 1, p. 94- 111, 1996.

TRUGILHO, P. F. et al. **Influência da idade nas características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis***. In: QUARTO SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS (FOREST96), 1996, BELO HORIZONTE/MG. Belo Horizonte/MG, 1996. v. Único. p. 71-72.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties and utilization**. New York,: Van Nastrnd Reinold, 1991, 494p.

TSUKAMOTO, A. A. F.; SILVA, M. L.; COUTO, L.; MÜLLER, M.D. “**Análise econômica de um plantio de Teca submetido a desbastes.**” Rev. Árvore, vol.27, nº.4, Viçosa, Julho/Agosto, 2003.

UNICAMP-IE-NEIT: “**ESTUDO DA COMPETITIVIDADE DE CADEIAS INTEGRADAS NO BRASIL**”: impactos das zonas de livre comércio. Campinas, Dezembro de 2002.

VIANA, V. M. **Instrumentos para o manejo sustentável do setor florestal no Brasil.** ESALQ, FEMTA – MT, 2000

VIANA, V. M., MAY, P., Lago, L., DUBOIS, O., GRIEG-GRAN, M. 2002. **Instrumentos para o manejo sustentável do setor florestal privado no Brasil.** Uma análise das necessidades, desafios e oportunidades para o manejo de florestas naturais e plantações florestais de pequena escala. Série Instruments for sustainable private sector forestry, International Institute for Environment and Development, Londres. Disponível para download no endereço: http://www.poptel.org.uk/iied/docs/flu/psf/psf_instrumbrazil_por.pdf

VITAL, B. R. **Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais.** Brasília: IBDF, Brasília, 1987, p. 49-52. (Boletim Técnico, 8).

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 141, p.57-61, 1986.

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

VITAL, B.R.; PEREIRA, A.R.; DELLA LUCIA, R.M.; ANDRADE, D.C. de. **Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado da região do cerrado de Minas Gerais.** Brasília/DF, IBDF, ag., 1984. p.41-52.

WAGNER, A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona Grandis* L.F.) cultivada na Grande Cáceres – Mato Grosso.** Piracicaba, ESALQ, 1988.

WILKES, J. 1988. **Variations of wood anatomy within species of *Eucalyptus*.** IAWA **Bulletin 9:** 13-23.

WINANDY, J. E.; ROWEL, R. M. The chemistry of wood strength. In: ROWEL, R.M. **The chemistry of solid wood.** Washington. American Chemical Society, c. 5, p.211-256, 1984.

ZHANG, S.Y. **“Mechanical”** properties in relation to specific gravity in 342 chinese woods. **Wood and Fiber Science**, v. 26, n. 4,p.512-26.1994.

ZOBEL, J.B.; BUJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.

8. ANEXOS

8.1 Apresentação Fisiológica



Figura 48 -Fruto carnoso provido de núcleo (drupa) Figura 49 - flor, fruto e folha adulta seca.



Figura 50 – fase de crescimento inicial

8.2 Procedimentos de Campo

As fotos registram os procedimentos realizados em campo com metodologia de extração em sistema de secagem das toras no próprio talhão de crescimento.



Figura 51 – Marcação e seleção das árvores



Figura 52 – Anelamento da casca



Figura 53 - Preparação para a secagem natural



Figura 54 - Avaliação dendrométrica



Figura 55 - Transporte das peças para desdobro.



Figura 56 - Identificação das peças.

8.3 Retirada de Corpos-de-Prova

São apresentadas a seguir as ilustrações sobre a forma de preparação dos corpos-de-prova após a retirada da casca e identificação das toras.



Figura 57 – Preparação das toras para desdobro



Figura 58 – Desdobra para confecção dos corpos-de-prova

8.4 Procedimentos de Laboratório

8.4.1. Preparação dos corpos-de-prova para ensaios físicos e mecânicos.

A confecção dos corpos-de-prova foi realizada após a fase de desdobra. Em seguida ao preparo foram catalogados e acondicionados na sala de climatização.



Figura 59 - Preparação dos corpos-de-prova.



Figura 60 - Corpos-de-prova prontos para ensaio.



Figura 61 - Catalogação e registro dos corpos-de-prova.



Figura 62 - Climatização dos corpos-de-prova.

8.4.2. Preparação dos corpos-de-prova para ensaio químico.



Figura 63 - Discos preparados para retirada de amostras de serragem para determinação de lignina.



Figura 64 - Discos preparados para retirada das cunhas.

De cada disco retirou-se uma cunha, correspondendo, aproximadamente, a $1/8$ da seção do disco e, posteriormente, converteu o material em cavacos, utilizando-se o moinho laboratorial Wiley, transformando em serragem.



Figura 65 - Serragem preparada para determinação da umidade.



Figura 66 - Dessecador para retirada de umidade

O teor de lignina foi determinado com a avaliação da variação da massa, de uma quantidade, inicial, equivalente a $(1,0 \pm 0,1)$ g de madeira, que foi tratada com 15 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4 72%), durante uma hora e trinta minutos, a uma temperatura de (15 ± 2) °C.



Figura 67 – Tratamento com ácido sulfúrico a temperatura de (15 ± 2) °C.



Figura 68 - Amostra em ebulição com água destilada



Figura 69 – Material lavado e filtrado



Figura 70 – Determinação final da lignina

8.4.3. Estudos anatômicos - determinação do comprimento, largura e espessura de fibras.

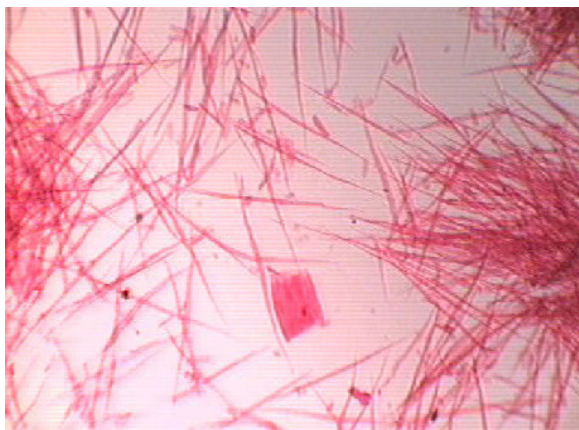


Figura 71 – Lâmina para determinação das dimensões das fibras.

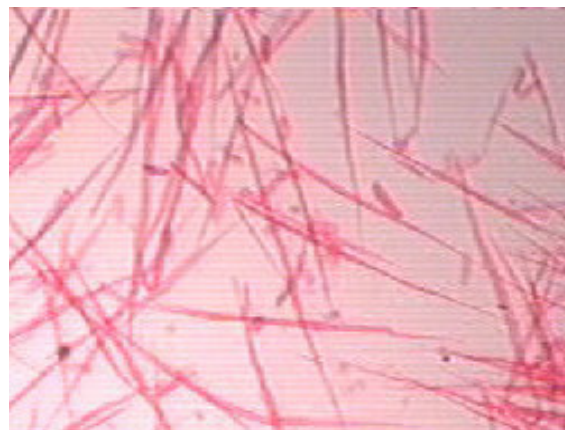


Figura 72 - Fibras na lâmina ampliada.



Figura 73 - Medição para determinação das dimensões das fibras.

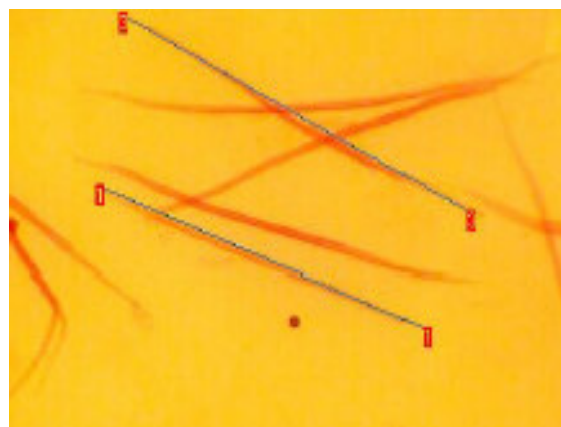


Figura 74 - Dimensões das fibras ampliadas

8.5 Industrialização da Teca



Figura 75 - Toras desdobradas prontas à exportação



Figura 76 - Teca desdobrada para comercialização



Figura 77 - Teca pronta para exportação



Figura 78 - Pannel de Teca com acabamento



Figura 79 - Poltrona fabricada de sarrafos de reaproveitamento.



Figura 80 - Portas e móveis com peças de uso comercial



Figura 81 – Mesa, cama, balcões e janelas.



Figura 82 – Painéis em sarrafos colados para usos diversos.