



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JAVAN PEREIRA MOTTA

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE *Tectona grandis* L.f.
PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
FEVEREIRO – 2011

JAVAN PEREIRA MOTTA

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE *Tectona grandis* L.f.
PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.
Coorientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

FEVEREIRO – 2011

Dissertação 0020

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M921p Motta, Javan Pareira, 1985-
Propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L.f.
proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais / Javan Pareira Motta. –
2011.
125 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.
Coorientador: Juarez Benigno Paes.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal
do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Teca (Árvore). 2. Madeira – Anatomia. 3. Madeira serrada –
Secagem. 4. Madeira - Deterioração. 5. Madeira – Propriedades mecânicas.
I. Oliveira, José Tarcísio da Silva. II. Paes, Juarez Benigno. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

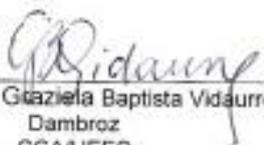
CDU: 630

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE
Tectona grandis L. F. PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE,
MINAS GERAIS**

Javan Pereira Motta

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 21 Fevereiro de 2011.



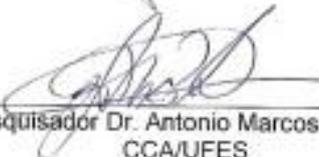
Profa. Dra. Glaziela Baptista Vidaurre
Dambroz
CCA/UFES



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
CCA/UFES



Prof. Dr. João Vicente de Figueiredo
Latorraca
DPF/UFRRJ



Pesquisador Dr. Antonio Marcos Rosado
CCA/UFES



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva de Oliveira
CCA/UFES (Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre ao meu lado, dando o apoio espiritual necessário para conclusão de mais esta etapa em minha vida.

Ao Programa de Pós – Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade de realização deste trabalho.

À Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – FAPES, pela concessão de uma bolsa de estudo.

Às empresas Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A. e Hexion™, pela doação de materiais utilizados neste estudo.

Aos meus amados pais, Cléciton e Ana Maria, irmãos Janayana e Thiago, pelo amor incondicional, que acima de tudo me deu forças para chegar ao final deste trabalho.

À minha namorada, Rejane Costa Alves, e sua família, pelo amor, carinho e ajuda incessante em todos os momentos vividos até aqui.

Aos professores José Tarcísio da Silva Oliveira, Juarez Benigno Paes pelos conselhos, amizade e orientação.

Aos professores Graziela Baptista Vidaurre Dambroz, João Vicente de Figueiredo Latorraca e ao engenheiro florestal pesquisador da CENIBRA S.A. Antônio Marcos Rosado pela participação da comissão de defesa.

Ao marceneiro Elecy Palácio Constantino e ao funcionário do Laboratório de Ciência da Madeira (LCM), José Geraldo Lima de Oliveira, pela ajuda, amizade e conselhos em todas as fases deste trabalho.

A todos meus amigos que ajudaram diretamente ou indiretamente na execução deste trabalho.

BIOGRAFIA

JAVAN PEREIRA MOTTA, filho de Cléciton Silva Motta e Ana Maria Pereira Motta, nasceu em 04 de abril de 1985, no Município de Linhares, Espírito Santo.

Cursou o segundo grau na Escola Agrotécnica Federal de Colatina, Espírito Santo, atual Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, Campus Itapina.

Ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo em 2004, graduando-se Engenheiro Florestal em fevereiro de 2009.

Em março de 2009, iniciou o curso de Mestrado em Ciências Florestais, na Universidade Federal do Espírito Santo, concluindo em fevereiro de 2011.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1.	Caracteres anatômicos do cerne periférico (DAP) da madeira de <i>Tectona grandis</i>	37
Tabela 2.1.	Massa específica da madeira de <i>Tectona grandis</i>	54
Tabela 2.2.	Retratibilidade da madeira de <i>Tectona grandis</i>	56
Tabela 2.3.	Propriedades mecânicas da madeira de <i>Tectona grandis</i> ...	58
Tabela 2.4.	Acréscimo na resistência mecânica à 12% de umidade em relação ao estado verde da madeira de <i>Tectona grandis</i>	59
Tabela 3.1.	Resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola e falha na madeira de <i>Tectona grandis</i>	78
Tabela 4.1.	Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos (ASTM D-2017, 2005).....	90
Tabela 4.2.	Avaliação do desgaste da madeira (ASTM D-3345, 2008).	92
Tabela 4.3.	Perda de massa (%) na madeira de <i>Tectona grandis</i>	93
Tabela 4.4.	Perda de massa e desgaste causado pelo cupim <i>Nasutitermes</i> sp.....	95
Tabela 5.1.	Umidade de equilíbrio (%) e coeficiente de histerese (A/D) para a madeira de <i>Tectona grandis</i> submetida a diferentes condições de umidade relativa do ar durante ensaio de sorção a 25°C.....	106
Tabela 5.2.	Umidade de equilíbrio higroscópico obtida por meio de equações da literatura e de equações ajustadas com dados de sorção para a madeira de <i>Tectona grandis</i>	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Toras de <i>Tectona grandis</i> de 15 anos de idade.....	32
Figura 1.2.	Seção transversal do tronco da madeira de <i>Tectona grandis</i> de 15 anos de idade.....	35
Figura 1.3.	Fotomicrografia do cerne periférico da madeira de <i>Tectona grandis</i> , no plano transversal, (10x).....	36
Figura 1.4.	Fotomicrografias ilustrando o plano transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) para a madeira de <i>Tectona grandis</i> . Barra = 200 µm.....	40
Figura 3.1.	Adesivos coloridos com corantes artificiais. (a) Cascorez 2500, (b) Cascorez 2590 e (c) Cascamite PL-2030.....	74
Figura 3.2.	Peças de madeiras de <i>Tectona grandis</i> orientadas tangencialmente preparadas para serem unidas por adesivos.....	75
Figura 3.3.	Sequência de aplicação do adesivo na face de colagem (a) e (b), espalhamento do adesivo com pincel (c), amostras com adesivo espalhado (d), montagem das juntas após 5 minutos (e) e prensagem das juntas na máquina universal de ensaio, após 15 minutos (f).....	76
Figura 3.4.	Esquema do corpo de prova segundo a norma da ASTM D-905 (2008) (A) e confeccionado com a madeira de <i>Tectona grandis</i> (B).....	77
Figura 4.1.	(A) Caixa utilizada no ensaio de preferência alimentar apoiada sobre tijolos de concreto em bandejas de alumínio; (B) Colônia de cupins <i>Nasutitermes</i> sp. no ensaio de preferência alimentar.....	92
Figura 5.1.	Sorção para a madeira de <i>Tectona grandis</i>	108
Figura 5.2.	Curvas da estimativa do teor de equilíbrio higroscópico da madeira segundo alguns autores e curvas de sorção obtidas a partir das equações ajustadas.....	111

SUMÁRIO

RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1. OBJETIVO GERAL.....	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. TECA.....	4
2.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA MADEIRA DE TECA.....	5
2.3. ANATOMIA DA MADEIRA.....	6
2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA.....	9
2.4.1. Massa específica aparente.....	11
2.4.2. Teor de umidade.....	12
2.4.3. Retratibilidade.....	13
2.4.4. Resistência à flexão estática.....	14
2.4.5. Resistência à compressão paralela as fibras.....	14
2.4.6. Resistência ao cisalhamento.....	15
2.4.7. Resistência à tração normal.....	15
2.4.8. Resistência ao fendilhamento.....	15
2.4.9. Dureza.....	16
2.5. ADESÃO DA MADEIRA.....	16
2.6. RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA.....	18
2.7. SORÇÃO DA MADEIRA.....	19
2.8. VALE DO RIO DOCE.....	20
2.8.1. Economia.....	20
2.8.2. Solo.....	21
2.8.3. Clima.....	21
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
CAPÍTULO I ANATOMIA DA MADEIRA DE TECA (<i>Tectona grandis</i> L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS	
Resumo.....	28
Abstract.....	29
1. INTRODUÇÃO.....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
2.1 DESCRIÇÃO DO MATERIAL.....	32
2.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
3.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS.....	35

3.2 CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS.....	36
3.3. CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS.....	37
4. CONCLUSÕES.....	41
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
CAPÍTULO II PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE TECA (<i>Tectona grandis</i> L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS	
Resumo.....	46
<i>Abstract</i>	47
1. INTRODUÇÃO.....	48
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	51
2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL.....	51
2.2. MASSA ESPECÍFICA.....	51
2.3. TEOR DE UMIDADE.....	52
2.4. RETRATIBILIDADE.....	52
2.5. PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	53
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.1. MASSA ESPECÍFICA.....	54
3.2. RETRATIBILIDADE.....	55
3.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	57
4. CONCLUSÕES.....	63
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
CAPÍTULO III ADESÃO DA MADEIRA DE TECA (<i>Tectona grandis</i> L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS	
Resumo.....	67
<i>Abstract</i>	68
1. INTRODUÇÃO.....	69
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	72
2.1 DESCRIÇÃO DO MATERIAL.....	72
2.2 ADESIVOS.....	72
2.2.1. Cascophen RS-216-M.....	73
2.2.2. Cascamite PL-2030.....	73
2.2.3. Cascorez 2500 e Cascorez 2590.....	74
2.3 ENSAIO DE ADESÃO.....	75
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4. CONCLUSÕES.....	81
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

**CAPÍTULO IV RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA DE TECA
(*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO
RIO DOCE, MINAS GERAIS A ORGANISMOS
XILÓFAGOS EM ENSAIO DE LABORATÓRIO**

Resumo.....	85
<i>Abstract</i>	86
1. INTRODUÇÃO.....	87
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	89
2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL.....	89
2.2. RESISTÊNCIA NATURAL	89
2.2.1. Ensaio de apodrecimento em laboratório.....	89
2.2.2. Ensaio de preferência alimentar.....	91
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
3.1. ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO.....	93
3.2. ENSAIO DE PREFERÊNCIA ALIMENTAR.....	95
4. CONCLUSÕES.....	97
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

**CAPÍTULO V SORÇÃO DE UMIDADE NA MADEIRA DE TECA
(*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO
RIO DOCE, MINAS GERAIS**

Resumo.....	101
<i>Abstract</i>	102
1. INTRODUÇÃO.....	103
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	105
2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL.....	105
2.2. ENSAIO DE SORÇÃO DE UMIDADE.....	105
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	107
4. CONCLUSÕES.....	111
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

RESUMO

MOTTA, Javan Pereira. **Propriedades tecnológicas da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Coorientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes.

O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades tecnológicas da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) de árvores com 15 anos de idade, proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. A caracterização da madeira de teca foi mediante a descrição anatômica, determinação das propriedades físicas e mecânicas, estudo do comportamento da adesão da madeira, avaliação da resistência natural da madeira na direção medula a alburno, a organismos xilófagos (fungos e cupins) em condições de laboratório, com ensaios de apodrecimento acelerado e de preferência alimentar com cupim subterrâneo, e estudos de sorção de umidade na madeira. Relativo à descrição anatômica, as características gerais, macroscópicas e microscópicas avaliadas para a madeira de teca foram semelhantes aos determinados por outros autores para a mesma espécie e relação direta da idade com o aumento do comprimento de fibra e espessura de parede foi constatado. A densidade média foi classificada como moderadamente pesada, mediana estabilidade dimensional, e com pequena influência do teor de umidade nos valores de resistência da madeira. A madeira de teca obteve resultado satisfatório nos ensaios de adesão. O cerne da madeira de teca foi classificado como resistente a organismos xilófagos. A determinação das curvas de sorção e o ajuste de equações para determinação do teor de equilíbrio higroscópico em diferentes umidades relativas do ar é fonte de informação para determinação do comportamento da madeira ao longo do processo de secagem e planejamento de programas de secagem mais adequados a espécie.

Palavras-chave: *Tectona grandis*. anatomia. propriedades mecânicas. biodeterioração. sorção.

ABSTRACT

MOTTA, Javan Pereira. **Technological properties of teak (*Tectona grandis* L.f.) from the Vale do Rio Doce, Minas Gerais, State – Brazil.** 2011. Dissertation (Master's degree in Forestry Science) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Adviser: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Co-adviser: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes.

The objective of this study was to determine the technological properties of teak (*Tectona grandis* L.f.) trees with 15 years old from the Vale do Rio Doce, Minas Gerais, State – Brazil. The characterization of teak wood was through the anatomical description, determination of physical properties and mechanical behavior study of wood adhesion, resistance assessment of natural wood from pith to sapwood, the wood decay organisms (fungi and termites) in terms of laboratory testing with rapid decay and subterranean termite feeding preference, and studies of moisture sorption in wood. Concerning the anatomical description, the general characteristics, gross and microscopic evaluated for teak were similar to those determined by other authors for the same species and the direct relation of age with increasing fiber length and wall thickness were found. The average density was classified as moderately heavy, medium dimensional stability, and with little influence of moisture content in wood strength values. A teak wood obtained satisfactory results in the adhesion assays. The heartwood of teak was classified as resistant to wood decay organisms. The determination of sorption curves and the fit of equations for determining the equilibrium moisture content at different relative humidity is a source of information for determining the behavior of wood during the drying process and planning of drying the most appropriate species.

Keywords: *Tectona grandis*. anatomy. mechanical properties. biodeterioration. sorption.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O setor florestal brasileiro a cada ano se destaca no cenário mundial. Este sucesso é por causa das condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento de espécies lenhosas com alto potencial produtivo, sejam elas nativas ou exóticas.

Ao longo de décadas foram implantadas no Brasil, diferentes espécies por meio de programas de reflorestamento, tendo como marco a década de 1960 com a criação dos incentivos fiscais concedidos pelo governo, que culminou com o plantio de grandes áreas formadas com espécies de rápido crescimento.

Dentre algumas espécies de rápido crescimento, a teca, botanicamente conhecida como *Tectona grandis* L.f, da família Verbenaceae, é nativa das florestas tropicais situadas no subcontinente índico e no sudeste asiático, principalmente na Índia, Burma, Tailândia, Laos, Camboja, Vietnã e Java sendo bastante utilizada em reflorestamentos. A madeira desta espécie tem como vantagem a grande aceitação no mercado mundial, podendo alcançar preços até três vezes superiores aos da madeira de mogno (*Swietenia macrophylla*), família Meliaceae, com utilização em âmbito nacional e internacional.

A madeira de teca é valorizada não apenas por suas propriedades físicas e mecânicas ou por apresentar boa resistência em relação ao peso, quanto à tração, flexão e outros esforços mecânicos importantes para a produção de móveis, o que garante leveza e alta resistência, quanto também por apresentar características estéticas desejáveis e alta durabilidade natural.

Portanto, além do efeito decorativo, a madeira de teca é utilizada para as mais diversas finalidades como na construção naval, na indústria de laminação e do compensado, como lenha e carvão vegetal nas áreas de ocorrência natural, e no Brasil, a madeira de primeiro desbaste já é utilizada na indústria moveleira.

O grande emprego mundial de madeira de teca proveniente de plantações confirma sua qualidade e aceitação. É comprovado que a correta utilização de um material está associada às suas características. A madeira não foge a regra, tornando-se de grande importância o conhecimento de suas

características, a fim de prognosticar seu comportamento em diferentes utilizações (PAES et al., 1995).

Assim, a caracterização tecnológica da madeira de teca torna-se importante, porque possibilita relacionar as diversas propriedades da madeira, sejam elas físicas e mecânicas com características anatômicas, além de outras informações para a qualificação da madeira para determinado uso, como a resistência natural a organismos xilófagos.

O estudo anatômico é de fundamental importância, pois avalia a estrutura anatômica qualitativa, descreve a morfologia dos diferentes tipos de células componentes da estrutura da madeira, como também quantitativamente, pela mensuração dos elementos celulares quanto as suas dimensões e frequência de ocorrência.

Além das propriedades de resistência propriamente ditas, é importante a determinação de algumas propriedades físicas como a massa específica, a retratibilidade da madeira e das propriedades de rigidez expressas pelo seu módulo de elasticidade. Particularmente nas madeiras provenientes de reflorestamento, como é o caso da teca no Brasil, a caracterização quanto às propriedades físico-mecânicas é essencial.

Em função de suas características e propriedades únicas e superiores, a teca é a madeira de folhosa mais valorizada no mundo, o que se justifica, ainda mais, estudos sobre suas qualidades tecnológicas, notadamente quando se trata de árvores implantadas fora de sua região de origem.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo geral determinar as propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L.f. com 15 anos de idade proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A determinação das propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* tem os seguintes objetivos específicos:

- Descrever as propriedades anatômicas;
- Determinar as propriedades físicas e mecânicas;
- Verificar o comportamento de adesão da madeira;
- Avaliar a resistência natural da madeira a organismos xilófagos (fungos e cupins) em condições de laboratório;
- Confeccionar curvas de sorção de umidade da madeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. TECA

A teca, conhecida cientificamente como *Tectona grandis* L.f. pertence à família botânica Verbenaceae, é nativa de florestas tropicais situadas entre 10° e 25° N no subcontinente Índico e no sudeste asiático, sua distribuição natural ocorre principalmente na Índia, Burma, Indochina, Mianmar, Tailândia, Laos incluindo a Indonésia, particularmente em Java, mas foi introduzida em diversos outros países (REVISTA DA MADEIRA, 2004; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA FOREST SERVICE, 2010). Em 2004, segundo Bhat e Ma (2004) cerca de um terço, o que correspondia a 8,9 milhões de hectares, das florestas naturais encontravam-se na Índia.

A introdução da teca em outros países ocorreu principalmente no sudeste asiático em Bangladesh, Camboja, Nepal, Paquistão, Japão, Sri Lanka, Taiwan, Vietnã, no pacífico como na Austrália, Ilha Fiji, Ilhas no pacífico norte americanas, também na África Oriental no Quênia, Malawi, Somália, Sudão, Tanzânia, Uganda, Zimbábue, África Ocidental em Benim, Gana, Guiné, Costa do Marfim, Nigéria, Senegal, Togo, e África do Sul, bem como no caribe em Cuba, Honduras, Jamaica, Nicarágua, Panamá, Porto Rico, Antilhas, na América do Sul desde a Argentina, Brasil, Colômbia, Suriname, Venezuela, e na América Central em Belize, Costa Rica e El Salvador (GURMARTINE; GOUDZWAARD, 2010).

Segundo a Remade (2004) a teca possui alta adaptabilidade e ocorre em uma variedade de ambientes, por causa de sua dispersão geográfica. Além de uma dispersão vertical que varia entre 0 a 1300 m acima do nível do mar, a teca pode se desenvolver em áreas com precipitação anual de 800 a 2500 mm, e temperaturas extremas de 2° a 42°C, porém não resiste à geada (REVISTA DA MADEIRA, 2004)

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2010), a madeira de teca é conhecida mundialmente pelo seu efeito decorativo e resistência, por isso é muito apreciada e utilizada em construções navais, na construção civil, na fabricação de assoalhos e *decks*,

sendo também destinada ao setor mobiliário, laminados decorativos e adornos em geral. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2010), a madeira de teca além destas características apresenta alta estabilidade dimensional, praticamente não empena, contrai muito pouco ao longo da secagem, o que a torna resistente às variações de umidade no ambiente.

A teca destaca-se ainda por apresentar madeira com boa relação resistência a peso, tração e flexão, que é comparável ao mogno brasileiro e resistência natural elevada, devido à durabilidade do cerne (REVISTA DA MADEIRA, 2004). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Florestas (2004) a madeira de teca adulta é praticamente imune a ataques de fungos e cupins.

Segundo o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPF (2004) a introdução da teca no Brasil foi iniciada no estado do Mato Grosso, no município de Cáceres, na década de 1968, por iniciativa da Empresa Cáceres Florestal S.A., mas somente em 1971 que os primeiros plantios em escala comercial foram implantados. Só a partir de 1989 que resultados positivos foram divulgados sobre o cultivo da teca, desde então a cada ano, um número crescente de produtores rurais, madeireiros e investidores vem reflorestando com a espécie no Brasil.

2.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA MADEIRA DE TECA

Os maiores produtores mundiais de teca são a Indonésia, Mianmar e Sri Lanka, e os maiores importadores são a Alemanha, Arábia Saudita, Austrália, Dinamarca, Emirados Árabes, EUA, Japão, Holanda, Itália e Reino Unido. Como centros de manufatura e reexportação da teca de Mianmar se destacam Hong Kong e Cingapura. Países como a Índia e Tailândia além de produzir, passaram a importar madeira de teca para suprir a demanda interna (SEMENTES CAIÇARA, 2010). Segundo esta mesma fonte, o Brasil possui um mercado com grande potencial de consumo, assim como de produção, além de possuir áreas adequadas para plantio de teca e uma floresta tropical para preservar.

Este potencial é confirmado pelo crescente aumento da área plantada de teca no país, segundo a ABRAF (2010) de 2008 a 2009 houve um crescimento de 10,9% na área plantada de teca no país, passando de 58.810 ha para 65.240 ha, respectivamente, com Mato Grosso, Amazonas e Acre considerados os principais estados com plantio de teca.

De acordo com a ABRAF (2010), o crescimento da área plantada com teca no Brasil ocorreu em função das expectativas de retorno financeiro oriundo dos projetos de reflorestamento. De acordo com Angeli e Stape (2003), normalmente em um ciclo de corte de 25 anos com 4 desbastes, produção média de 250 a 350 m³/ ha e produtividade média de 10 a 15 m³/ha/ano, cerca de 50 a 60% da produção total é colhido no corte final, sendo a madeira de primeiro desbaste considerada não comercial, mas pode ser aplicada no meio rural. Todavia, todos os custos de implantação e manutenção são amortizados nos segundo e terceiro desbastes, assim o quarto desbaste e o corte final concentram o resultado econômico do reflorestamento com teca.

Segundo a EUCATECA (2010), empresa que produz e comercializa muda de teca, o preço *Free On Board* – FOB do metro cúbico de madeira de teca comercial varia de US\$ 400,00 a US\$ 3.000,00, o que depende da qualidade de madeira, ou seja, com ou sem nós, além da bitola das toras. Segundo a empresa, a produção mundial é de aproximadamente 3 milhões de m³ por ano, com a maior parcela consumida pelo mercado interno dos países produtores e o mercado internacional por sua vez consome cerca de 500 mil m³.

2.3. ANATOMIA DA MADEIRA

Dentre os materiais de origem biológica, a madeira é o mais conhecido e utilizado, isso ocorre por causa da ampla possibilidade de utilização do lenho de uma árvore, pois este apresenta grande quantidade de substâncias utilizadas como matérias primas nas diversas áreas tecnológicas (KLOCK et al., 2005).

A anatomia da madeira possibilita um conhecimento aprofundado desse material tão valioso e complexo. Segundo Costa (2001), o termo

anatomia vem de *anatomé* que significa dissecação, corte. Logo anatomia de madeira é o ramo da ciência botânica que busca conhecer o arranjo estrutural dos diversos elementos que constituem o lenho ou xilema secundário, com o objetivo de determinar a origem, a forma, as dimensões, os conteúdos, a filogenia e as suas relações recíprocas (SILVA, 2005).

Autores como Burger e Richter (1991) consideram a anatomia da madeira como o estudo de vários tipos de células constituintes do lenho, suas funções, organização e peculiaridades estruturais com os objetivos de conhecer a madeira visando seu emprego correto, identificar espécies, distinguir madeiras aparentemente idênticas, predizer utilizações adequadas de acordo com suas características anatômicas para assim prever e compreender o comportamento da madeira quanto à sua utilização. As vantagens resultantes dessa verificação de identidade são inúmeras e de real importância para o comércio e a indústria madeireira podendo ser usada até para evitar fraudes (COSTA, 2001).

De acordo com Gonzaga (2006), ao discorrer sobre o uso e conservação da madeira, menciona que o aspecto, a anatomia e a disposição dos tecidos lenhosos da madeira podem ser relacionados à espécie vegetal que a originou, pela estreita relação existente.

Oliveira (1997) reafirma a importância da anatomia da madeira em seu estudo sobre a caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil, ao afirmar que a identificação de madeira é uma das principais aplicações da anatomia da madeira, servindo como ferramenta para melhor conhecimento e utilização deste importante recurso natural, e também de grande interesse científico para botânicos, paleontologistas, arqueologistas e áreas afins.

De acordo com Zenid (2008), na identificação anatômica de espécies florestais utilizam-se de dois tipos diferentes de abordagem, a microscopia e a macroscopia. Segundo o autor, na abordagem macroscópica é observado características que requerem pouco ou nenhum aumento, divididas em organolépticas e anatômicas, com auxílio de lupa com 10x de aumento, enquanto na microscopia são observadas as características dos tecidos e das células constituintes do lenho. Sendo necessário utilizar um microscópio ótico,

isto possibilita determinar os tipos de pontoações, ornamentações da parede celular, composição celular dos raios, dimensões celulares, dentre outros.

Com relação ao uso da anatomia para identificação de madeira, segundo Coradin e Camargos (2002) é necessário identificar a madeira sempre recém aplainada, verificar o estado de conservação e umidade da amostra e se ela foi submetida ou não a algum tratamento, certificar se a amostra foi retirada do cerne ou do alburno, considerar a procedência do material, verificar, previamente, o nome comum pelo qual a espécie é comercializada, considerar as características marcantes da espécie, analisar os caracteres gerais, os caracteres macroscópicos com auxílio de uma lupa, promover a análise geral, comparando todos os dados encontrados, proceder nova análise se encontrar dados não compatíveis com a espécie suposta e encaminhar a um laboratório de anatomia de madeira as amostras que não foram identificadas em campo.

Segundo Chimelo (2007), a madeira por ser um material biológico complexo, oriundo de um ser vivo, é composta de vários tipos de células que se dispõem nos planos transversal, tangencial e radial. Essa estrutura anatômica altera a aparência, afeta o comportamento físico-mecânico da madeira dependendo da face considerada, caracterizando-a como um material anisotrópico, comportando-se de maneira distinta dependendo da face de referência (ZENID, 2008).

A madeira, como a maioria dos seres vivos, é composta por células que compõem suas unidades estruturais básicas e fisiológicas (CORADIN; CAMARGOS, 2002; SILVA, 2005). De acordo com as normas da Associação Internacional de Anatomistas de Madeira - IAWA Committee (1989), adotadas mundialmente, os tecidos constituintes da madeira são os elementos vasculares ou vasos, células de parênquima axial, células de parênquima radial ou raios, fibras e traqueídeos.

Segundo Coradin e Camargos (2002) os vasos são conjuntos de células sobrepostas no sentido longitudinal que forma uma estrutura de tubos contínua e de comprimento indeterminado, sua função é a condução ascendente de líquidos ou seiva bruta na árvore, vistos na seção transversal, os vasos são denominados poros. De acordo com os autores as células do parênquima axial são geralmente menores, com paredes mais finas que as

fibras e os elementos vasculares, mas também com maior dimensão no sentido longitudinal, cuja função é de reserva de alimentos, assim como as células do parênquima radial (raios), que apenas se diferenciam por estarem dispostos no lenho com o comprimento maior no sentido radial e perpendicular aos demais elementos da madeira. As fibras são células alongadas, extremidades afiladas, paredes celulares geralmente espessas e maior dimensão no sentido do eixo da árvore, são responsáveis pela sustentação mecânica da planta.

É importante destacar, que a influência da anatomia da madeira está relacionada principalmente com sua estrutura, que diz respeito às diferenças nas dimensões dos elementos celulares, bem como as disposições, dimensões e frequência das cavidades celulares, que se relacionam com a porosidade e permeabilidade da madeira (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Portanto, o estudo anatômico da madeira é elemento fundamental para qualquer emprego industrial que se pretenda destinar à mesma, ou seja, o seu comportamento mecânico e qualquer que seja a aplicação estão diretamente associados com sua estrutura celular (COSTA, 2001).

2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

A madeira é considerada um dos materiais de construção mais antigos, por causa da sua disponibilidade na natureza e relativa facilidade de manuseio. Ao comparar a madeira com outros materiais de construção existentes, que são atualmente utilizados, ela apresenta uma excelente relação entre a resistência e peso. Existem ainda outras características favoráveis à madeira na utilização como material de construção, sendo pela facilidade de beneficiamento e por apresentar um bom isolamento térmico e acústico (AGOSTINI, 2005).

Segundo Agostini (2005), em função da orientação das células e conseqüentemente das fibras, a madeira é um material anisotrópico, apresentando três planos principais (transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial). Diferenciam-se, as propriedades na direção das fibras, ou seja, na direção longitudinal e na direção perpendicular a estas fibras (radial e tangencial). A composição química e a organização dos elementos celulares

da madeira determinam as suas propriedades e suas aptidões para o uso comercial (CHIMELO, 2007).

Além destes fatores mencionados acima, as características da madeira são influenciadas por outros fatores, que segundo Calil Junior et al. (2000), são a diferença entre as condições de temperatura, composição e umidade do solo no local onde a árvore cresceu, densidade e tipo de manejo aplicado ao povoamento, incidência de chuvas e a posição da árvore no talhão, que podem provocar diferenças significativas na madeira formada até mesmo em árvores da mesma espécie.

As propriedades físicas e mecânicas da madeira fornecem inúmeras informações para tornar seu uso adequado, seja ela utilizada como matéria prima para a indústria moveleira ou como material de construção (OLIVEIRA, 2007). Szücs et al. (2006) mencionam que para utilizar a madeira como material de construção, algumas características físicas, como a umidade, densidade, retratibilidade, resistência ao fogo, durabilidade natural, resistência química, merecem destaque e devem ser conhecidas. Bremer (2009) alerta sobre a importância do conhecimento das propriedades físicas da madeira utilizada estruturalmente, pois estas propriedades podem influenciar significativamente em seu desempenho e resistência.

Para se determinar as propriedades físicas e mecânicas das espécies de madeira, utilizam-se ensaios padronizados que devem ser executados em amostras selecionadas em um determinado lote de madeira (AGOSTINI, 2005). De acordo com Lovatti (2008), dentre as normas mais utilizadas no mundo estão a americana ASTM (American Society for Testing Materials); a britânica BSI (British Standard Institution); as internacionais da ISO (International Organization for Standardization); e COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas), e no Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) se destaca.

Segundo Oliveira (2007), todos os ensaios referentes às propriedades físicas e mecânicas da madeira devem ser determinados em laboratórios específicos, que possuam equipamentos apropriados para esta finalidade. Segundo o autor, a máquina universal de ensaio é considerada o principal equipamento nos laboratórios, trata-se de uma prensa de comando hidráulico

ou mecânico com diferentes acessórios que permitem aplicar vários tipos de solicitações, e o acoplamento de dispositivos de leituras além de possibilitar o registro das cargas e avaliar a rigidez do material ensaiado.

O Método Brasileiro MB26 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1940) preconiza dez propriedades de interesse, sendo três físicas e sete mecânicas ou de resistência. As propriedades físicas preconizadas no MB26 são o teor de umidade, retratibilidade e a massa específica aparente. Já as propriedades mecânicas envolvem a resistência à flexão estática, a resistência à compressão normal e paralela às fibras, a resistência ao cisalhamento, a resistência à tração normal e paralela às fibras, a resistência ao fendilhamento e a dureza.

2.4.1. Massa específica aparente

A massa específica aparente é a propriedade que mais fornece informações sobre as características da madeira (CALIL JUNIOR et al., 2000; OLIVEIRA, 2007). Para Panshin e De Zeeuw (1980), ela resulta da interação entre suas propriedades químicas e anatômicas, varia em função de diferenças nas dimensões celulares, interações entre estes fatores e pelo teor de extrativos por unidade de volume no lenho. Além disso, a presença de substâncias minerais como cristais de oxalato de cálcio e sílica em algumas espécies favorecem para o aumento da massa específica de uma madeira (FOLHA FLORESTAL, 2001).

Segundo Moreschi (2010) a maior parte das propriedades físicas e tecnológicas depende da massa específica, pois ela serve na prática como uma referência para a classificação da madeira. Quanto maior o seu valor, maior será a retratibilidade em alguns casos e maiores serão as dificuldades em se trabalhar a madeira (OLIVEIRA, 1997).

Para madeiras tropicais a massa específica aparente apresenta uma faixa de variação muito extensa, variando de valores próximos a $0,20 \text{ g/cm}^3$ até $1,20 \text{ g/cm}^3$. Tal variação ocorre em função das diversas influências externas e internas que configuram a organização e dimensões das células do lenho. Segundo Moreschi (2005), as principais causas de sua variação, tanto interna

quanto externa são a espécie florestal, teor de umidade da madeira, presença de lenho inicial ou tardio, largura dos anéis de crescimento, posição no tronco em que o material foi retirado, local de crescimento da árvore e métodos silviculturais empregados (adubação, poda, desbaste, entre outros).

2.4.2. Teor de umidade

O teor de umidade pode variar de 35% a 200%, sendo tal variação dependente da espécie madeireira (KLITZKE, 2007). A água é um elemento importantíssimo para o crescimento e desenvolvimento da árvore, além de constituir uma enorme porção da madeira verde, ela pode estar na madeira na forma de água livre presente nos lúmens das células e na forma de água impregnada presente nas paredes das células (SZÜCS et al., 2006).

Ao determinarem algumas características físicas da madeira, relevantes para o projeto de estruturas, Calil Junior et al. (2000) mencionam que a umidade da madeira ou a presença de água é facilmente entendida quando se relaciona à fisiologia da árvore, que desde a absorção de água e sais minerais do solo pelas raízes até as folhas, compondo a seiva bruta, e das folhas até as raízes, compondo a seiva elaborada, composta por água e substâncias produzidas pela fotossíntese.

De acordo com Lima Junior et al. (2008) há uma influência direta da umidade em algumas propriedades de resistência da madeira, e desta forma afeta o seu grau de trabalhabilidade, rendimento e qualidade da celulose, reduzindo seu poder calorífico e aumentando a susceptibilidade da madeira ao ataque de fungos.

O teor de umidade da madeira é de fácil determinação, e expressa em porcentagem a quantidade de água existente nos vazios de sua estrutura. Para esta determinação realiza a pesagem de amostras em condição úmida e após secagem em estufa, sob temperatura constante de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ou pode ser feito por meio de técnicas não destrutivas, utilizando medidores elétricos (OLIVEIRA, 2007).

2.4.3. Retratibilidade

A retratibilidade, segundo o IPT (1985), consiste em um fenômeno de variação das dimensões da madeira com alteração em seu teor de umidade. Tais variações surgem quando há perda ou ganho de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), geralmente variável entre 28 a 30% de umidade. De acordo com Calil Junior et al. (2000), a diminuição ou o aumento da quantidade de água contida na madeira provoca a aproximação ou afastamento das cadeias de celulose e das microfibrilas, provocando variações dimensionais de contração ou inchamento.

O comportamento da retratibilidade varia entre as espécies, sendo dependente da forma como é conduzido o processo de secagem e pelo comportamento da madeira ao longo desse processo, podendo haver alterações dimensionais e até mesmo formação de fendas e empenos (REVISTA DA MADEIRA, 2001).

Por causa de seu caráter anisotrópico, as variações dimensionais na madeira ocorrem distintamente na direção radial, tangencial e longitudinal. A variação longitudinal, às vezes, é menor que 1%. Desta forma é importante a determinação da retratibilidade volumétrica total e das variações dimensionais lineares. A movimentação na direção transversal requer maior atenção, pois ela se diferencia conforme a direção tangencial ou radial, com as maiores movimentações na direção tangencial (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Skaar (1988) a relação entre os valores das contrações no sentido tangencial e radial que determina o coeficiente de anisotropia (T/R), possibilita prever o comportamento da madeira em relação à secagem, indicando uma maior ou menor propensão das peças fendilharem. Segundo Oliveira (2007), o coeficiente anisotrópico varia de 1,3 a 1,4 para madeiras mais estáveis, a mais de 3, como no caso de algumas espécies de madeiras pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. As medidas são tomadas nas três direções, desde a madeira com teor de umidade acima do PSF até uma condição de secagem completa.

2.4.4. Resistência à flexão estática

A resistência à flexão estática é uma das propriedades mecânicas da madeira mais importantes. Para determinação de flexão estática uma carga é aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento em uma amostra apoiada nos extremos (LIMA JUNIOR et al., 2008). Ela é considerada uma das mais importantes propriedades mecânicas para caracterizar a madeira como material de construção, ou seja, na fabricação de casas, pontes, telhados, construções marítimas, e em todas as demais construções de madeira (OLIVEIRA, 1997).

Segundo Carvalho (1996), a resistência à flexão pode ser definida como a resistência da madeira a forças ao longo do seu comprimento. É importante destacar que a madeira quando solicitada à flexão sofre tensões de compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e nas regiões de apoio e compressão normal às fibras (CALIL JUNIOR et al., 2000)

O MB26 da ABNT (1940) determina que para a caracterização qualitativa devem-se utilizar 80 corpos de prova, metade ensaiada acima de 28% de umidade e outra metade a 15%, com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm, com a última dimensão na direção das fibras, e para fins estruturais são ensaiados 12 corpos-de-prova com teor de umidade acima de 28%, com dimensões de 6,0 x 6,0 x 100,0 cm, sendo a última dimensão na direção das fibras.

2.4.5. Resistência à compressão paralela as fibras

Segundo Lima Junior et al. (2008), a resistência à compressão axial se refere à carga suportável por uma peça de madeira quando esta é aplicada em direção paralela às fibras. É o caso de colunas que sustentam um telhado e elementos de treliça.

Esta propriedade é dependente da densidade da madeira, em que madeiras com densidade elevada apresentam elevados valores de resistência à compressão, havendo ainda uma relação com o teor de umidade e direção

de aplicação do esforço, paralelo ou perpendicular às fibras da madeira (OLIVEIRA, 2007).

2.4.6. Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento é a capacidade da madeira de resistir a ação de forças que tendem forçar partes adjacentes de um material a deslizar uma sobre a outra (OLIVEIRA, 1997). Os ensaios que seguem recomendações do MB26 da ABNT (1940) utilizam 48 corpos de prova, metade ensaiada acima de 28% de umidade, e a outra metade a 15%.

2.4.7. Resistência à tração normal

A resistência à tração normal às fibras é definida como a separação total das camadas de crescimento por esforços no sentido radial da madeira (OLIVEIRA, 2007). Segundo Pfeil e Pfeil (2003) raramente, na prática, a madeira está submetida à ação de esforços de tração normal às fibras. Tal esforço ocorre com maior frequência em algumas ligações e em vigas curvas de madeira laminada e colada, sendo dependente da resistência da lignina como material ligante. Para os ensaios de tração normal o MB26 da ABNT (1940), recomenda que sejam utilizados 48 corpos-de-prova, sendo metade ensaiada com teor de umidade acima de 28% e outra metade a 15% de umidade.

2.4.8. Resistência ao fendilhamento

A resistência ao fendilhamento é o deslocamento gradual das camadas de crescimento. Esta propriedade caracteriza a madeira quanto a sua maior ou menor facilidade em fendilhar, sendo o ensaio mais utilizado para fins qualitativos ou na comparação de espécie e, geralmente em análises estruturais no comportamento de ligações (pregadas, parafusadas e cavilhadas) (OLIVEIRA, 2007). O ensaio seguindo o MB26 da ABNT (1940)

recomenda utilizar 80 corpos de prova, metade ensaiada com teor de umidade acima de 28% e outra metade à 15% de umidade.

2.4.9. Dureza

A dureza segundo Oliveira (2007), é a capacidade de o material resistir à abrasão superficial, fornecendo a idéia de resistência ao desgaste. É importante na escolha da madeira para usos estruturais que podem sofrer intervenções com ferramentas cortantes ou que necessitam ser furadas ou pregadas. O MB26 da ABNT (1940) recomenda utilizar o método proposto por Janka, em que se introduz uma semi-esfera de aço com 1,0 cm² de seção diametral até a profundidade igual ao raio na face transversal e nas faces longitudinais radial e tangencial. São utilizados no ensaio 12 corpos-de-prova com dimensões de 6,0 x 6,0 x 15,0 cm, sendo metade ensaiada com teor de umidade acima de 28% e outra metade a 15% de umidade.

2.5. ADESÃO DA MADEIRA

Segundo Albuquerque et al. (2005) a adesão é um processo físico-químico, que origina uma interação entre superfícies sólidas e uma segunda fase, composta de partículas individuais (moléculas, gotas e pó) ou por uma película contínua, podendo ser líquida ou sólida.

Durante a adesão ocorre o fenômeno da sorção, podendo ser o processo de adsorção sobre uma superfície e dentro da camada superficial, provocado por algumas forças atuantes, como as forças moleculares eletrostáticas, de Van der Waal e de ligações covalentes (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Para se entender melhor o processo de adesão, Marra (1992) explica que o adesivo antes de se tornar resistente em uma junta de madeira colada sofre um movimento lateral formando um fluxo contínuo, em seguida é transferido de uma parte onde ele foi espalhado para outra onde não foi espalhado, penetra na madeira, ocorre uma molhabilidade da superfície e por fim se solidifica na madeira.

De forma geral, o adesivo tem como função fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas, diminuindo a distância, facilitando as interações químicas entre adesivo e o substrato (WATAI, 1995).

Para simplificar os mecanismos que envolvem o processo de adesão, Albuquerque et al. (2005) os resume em três teorias básicas: a primeira é a teoria mecânica, nela o adesivo em seu estado líquido penetra na madeira e se solidifica, formando “ganchos” firmemente aderidos a ela; a segunda teoria, é da difusão de polímeros e neste caso a adesão ocorre por difusão de segmentos de cadeias de polímeros a nível molecular; a terceira teoria, é a da adesão química, que surge por meio de ligações primárias, iônicas ou covalentes, e ainda por forças intermoleculares secundárias.

Entendendo o processo de adesão, vale ressaltar que a utilização dos adesivos em artefatos de madeira representa várias vantagens para o setor madeireiro, entre elas segundo Carneiro et al. (2007), pode-se citar a possibilidade de colagem de lâminas finas, e de madeiras sólida ou partículas, uma melhor distribuição dos esforços em grandes áreas, o aumento da estabilidade dimensional e também a possibilidade de unir a madeira a outros materiais não celulósicos (metais ou plásticos), mas sempre buscando a otimização de seu uso. Segundo estes mesmos autores, dependendo da tecnologia adotada, os adesivos representam no máximo, 2% do custo total de um artefato de madeira (móvel), mas para a produção de chapas este custo pode alcançar 60%. Portanto, otimizar a quantidade de adesivo a ser utilizado é a melhor opção.

É importante destacar que na colagem da madeira, existem alguns fatores que exercem influência direta na qualidade da adesão. Segundo Albuquerque, et al. (2005) esses fatores são as características físicas e químicas do adesivo, a composição e característica da madeira, os procedimentos utilizados durante a colagem e as condições de uso do produto colado.

Relacionado a madeira, dentre as propriedades que influenciam na formação e comportamento da ligação adesiva, as relacionadas às características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas são as principais (ALBUQUERQUE et al., 2005). Segundo Carneiro et al. (2007), a anatomia

afeta a capacidade de penetração do adesivo, ou seja, o movimento deste para o interior da estrutura da madeira. A composição química, relacionada com o teor de extrativos, afeta a cura do adesivo, bem como as propriedades físicas que também afetam o tempo de cura, requerendo maiores temperaturas e tempo de prensagem.

De acordo com Albuquerque e Latorraca (2005), as principais características da madeira que afetam a adesão e colagem são a densidade, porosidade, permeabilidade, pH, teor de umidade, tipo de grã, a textura, topografia da superfície de colagem, tipo de extrativo e variabilidade das espécies.

2.6. RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA

O entendimento sobre a durabilidade da madeira depende da distinção de dois termos, a biodegradação e a biodeterioração. De acordo com Schmidt (2006), a biodeterioração, é a alteração indesejável de uma ou mais propriedades de um material, como resultado da ação de organismos vivos, por exemplo, ataque de cupins em componentes de madeira de edificações ou apodrecimento de moirões de cerca, e a biodegradação é a alteração desejável de uma ou mais propriedades de um material, como resultado da ação de organismos vivos, como a transformação da calda de uva em vinho, causada por microrganismos.

Em relação à resistência ou durabilidade natural da madeira, esta é definida como a capacidade de resistir à biodeterioração, ao ataque de organismos xilófagos, variando entre as espécies de madeira e das características anatômicas (SZÜCS et al., 2005; BRAZOLIN, 2007). Mesmo uma espécie de reconhecida durabilidade natural, não é capaz de resistir, indefinidamente, a ação das intempéries ou das variações das condições ambientais (SILVA, 2005).

Com relação à resistência natural da madeira, existe uma variação significativa entre durabilidade do cerne e do alburno, pois estes apresentam características diferentes, com o alburno mais vulnerável ao ataque de agentes biodeterioradores em relação ao cerne (SZÜCS et al., 2005).

Segundo Mady (2000?) ao longo do desenvolvimento da árvore, se acumulam compostos ou metabólicos secundários no cerne, com infinitas composições químicas, podendo ser terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados, que fornecem proteção natural a madeira, em função de sua toxidez aos agentes xilófagos. Segundo o autor, algumas substâncias inorgânicas que preenchem o interior das células como cristais e sílica, dificultam ainda mais o ataque de térmitas e coleópteros, e até mesmo obstruções nos elementos de vaso, conhecidas como tiloses, formam uma barreira natural à proliferação de fungos, bem como a alta densidade de algumas espécies se torna um fator natural de proteção.

A madeira ao ser exposta ao tempo é submetida às influências de variação de temperatura e umidade, sofre ação de substâncias químicas do meio (atmosfera, solo e água) que reagem com seus componentes deteriorando-os, além de sofrer ação de organismos xilófagos, principalmente bactérias, fungos, insetos e no ambiente marinho por perfuradores ou brocas marinhas (SGAI, 2000).

A durabilidade natural da madeira determina sua utilização, principalmente em regiões de clima tropical, onde as condições de temperatura e umidade proporcionam ótimas condições para o desenvolvimento de fungos e insetos, que em sua maioria utilizam a madeira como única ou principal fonte de alimento. Estes organismos têm uma atividade tão intensa que o ataque pode ocorrer até em uma árvore viva (ROCHA, 2001).

2.7. SORÇÃO DA MADEIRA

A sorção é um fenômeno comum entre os sólidos que possuem complexa estrutura capilar, que é influenciado por suas propriedades físicas e químicas (OLIVEIRA, 1988). Segundo Moreschi (2005) o fenômeno da sorção é composto por dois processos, sendo a adsorção a umidificação da madeira e desorção a perda de água por evaporação. De acordo com Galvão (1985) as isotermas de sorção variam entre espécies, variação que é determinada pela diferença na proporção entre os constituintes da parede celular (celulose, hemiceluloses e lignina) e das inter – relações entre eles. Segundo Mesquita

(2005) citada por Silva et al. (2005) as hemiceluloses são mais sortivas, ou seja, possuem maior facilidade em receber moléculas de água, em torno de 47%, já a celulose com 37% e a lignina com 16%.

Kollmann e Côte Júnior (1968) definiram que as isotermas originadas pela adsorção e desorção não se sobrepõem, e a diferença entre os teores de umidade é denominada histerese. O comportamento da histerese é variável entre espécies, e esta variação é função das diferenças na formação de pontes de hidrogênio reversíveis entre moléculas de celulose adjacentes (OLIVEIRA, 1988).

O conhecimento a respeito da sorção é importante para se compreender o comportamento higroscópico da madeira. Por exemplo, sabe-se que a umidade de equilíbrio da madeira varia com a umidade relativa do ar, entre as diferentes espécies, entre cerne e alburno da mesma espécie, teor de extrativos, temperatura, tensões mecânicas e pela história da exposição da madeira (SKAAR, 1972; MENDES e ARCE, 2003). Portanto, a umidade de equilíbrio da madeira deve ser determinada para o local em que ela será utilizada, estimada por meio da determinação em amostras de madeira ou por equações (MENDES e ARCE, 2003).

As teorias Brunauer, Emmet e Teller (BET), de Hailwood e Horrobin e de Malmquist tentam explicar o fenômeno de sorção da madeira, embasadas na absorção de água por polímeros higroscópicos como descrito por Oliveira (1988), ao estudar a sorção da madeira de pindaíba (*Xylopiá sericea*). Sendo a teoria de Hailwood e Horrobin a mais utilizada para estimar a umidade de equilíbrio da madeira (MENDES e ARCE, 2003). Todas estas teorias foram descritas por Skaar (1972), que originaram equações para estimar a umidade de equilíbrio da madeira.

2.8 VALE DO RIO DOCE

2.8.1. Economia

Economicamente, a criação de gado é a atividade mais representativa e distribuída em toda a bacia. A tendência indica a substituição das lavouras de

café por pastagens ou reflorestamento com pinus ou eucalipto. As atividades industriais são fortemente ligadas à mineração e atividades correlatas, são de primordial importância na bacia. Esta inclui boa parte do Quadrilátero Ferrífero, que é responsável por 61% da produção brasileira de minério de ferro, e onde se localiza 31% da produção de aço. Outras atividades incluem indústrias produzindo açúcar e álcool, papel e celulose, carvão vegetal, indústrias químicas, mecânicas, metalúrgicas e siderúrgicas (AS MINAS GERAIS, 2011).

2.8.2. Solo

A região apresenta no aspecto geológico embasamento cristalino do pré-cambriano, com topografia acidentada, apresentando altitudes que variam de 200 a 1.000 m. O subsolo da região apresenta amianto, argila, mica, pedra coradas (semi-preciosas), quartzo e outras. No campo mineral, toda região fornece um panorama positivo, desde grandes explorações de minério de ferro bem como produção de pedras preciosas, ouro e diamante, o solo é caracterizado como latossolo vermelho – amarelo (LVA) (LIMA et al., 2008; AS MINAS GERAIS, 2011).

2.8.3. Clima

O clima da região do Vale do Rio Doce caracteriza-se com altas temperaturas registradas ao longo dos anos, e pequena amplitude térmica com médias anuais de temperatura de 25°C, máxima de 31,5°C e mínima de 19,1°C, precipitação de 1.163mm, umidade relativa de 65,2%, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical). A irregularidade determina claramente um período chuvoso e outro seco, sendo que seu potencial climático é favorável à economia regional (LIMA et al., 2008; CARNEIRO et al., 2008; AS MINAS GERAIS, 2011).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI, B. M. **Determinação das propriedades mecânicas da madeira.** Laboratório de Resistência dos Materiais. 20 p. 2005.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Colagem varia de acordo com propriedades da madeira. **Revista da madeira.** n. 88. 2005.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; JÚNIOR, S. K. **Adesão e adesivos.** In: IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF. 2005. 247 p.

ANGELLI, A.; STAPE, J.L. **Tectona grandis (Teca).** Identificação de Espécies Florestais: IPEF. Piracicaba, SP. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ensaio físicos e mecânicos da madeira – MB-26/40.** Rio de Janeiro, 1940. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009.** Brasília, DF. 140p, 2010. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatistica.s.asp>>. Acesso em: 07 dez. 2010.

BHAT, K. M.; MA, H. O. **Teak Growers unite.** ITTO Tropical Forest Update, 14, 2004.

BRAZOLIN, S. Biodeterioração e preservação da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p. 343 – 365. 2007.

BREMER, C. F. **Histórico das construções de madeira.** In: RODRIGUES, B. P.; FIEDLER, N. C.; BRAZ, R. L. Tópicos em ciências florestais. n. 1. Alegre: CCAUFES. p. 11 – 21, 2009.

BURGER, L. L.; RICHITER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 154p. 1991.

CALIL JÚNIOR, C. et al. **Estruturas de madeira.** São Carlos: USP – Departamento de Engenharia de Estruturas, 101p, 2000.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua importância na indústria madeireira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** n. 2. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p. 99 – 128. 2007.

CARNEIRO, R.L.C. et al.. Consumo de água em plantios de eucalipto: parte 1- determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. **Revista Árvore,** Viçosa, v.32, n.1, p.1 – 10, 2008.

CARVALHO, A. Madeiras Portuguesas. Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações. Instituto Florestal: Lisboa, v. I. 1996.

CHIMELO, J. Anatomia e propriedades gerais da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 107 -124.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **A Estrutura anatômica da madeira e princípios para a sua identificação**. Laboratório de Produtos Florestais – LPF: Brasília. 2002, 28 p.

COSTA, A. **Anatomia da madeira**. Coletâneas de Anatomia da Madeira. 2001. Disponível em: www.joinville.udesc.br/sbs/.../APOSTILANATOMIA1.pdf. Acesso em: 11 maio 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA FLORESTAS. **Teca – *Tectona grandis***. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Colombo, PR. 2004.

EUCATECA. **Teca – *Tectona grandis***. 2010. Disponível em: <http://www.eucateca.com.br/listaprod.asp?lista=categoria&tipo_id=1>. Acesso em: 10 nov. 2010.

FOLHA FLORESTAL. Secagem da madeira. **Revista Folha Florestal**. DEF/UFV: Viçosa, MG. 88 p. 2001.

GONZAGA, A. L. Madeira: uso e conservação. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Cadernos Técnicos**. Brasília: IPHAN/MONUMENTA. 206p. 2006.

GURMARTINE, T; GOUDZWAARD, L. **Tree factsheet *Tectona grandis* L.** Forest Ecology and Forest Management Group: Wageningen University. 2010. Disponível em: <<http://webdocs.dow.wur.nl/internet/fem/uk/trees/tecgraf.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS WOOD – IAWA COMMITTEE. **List of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin, v. 10, n.3, p. 219 – 332. 1989.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. Boletim Técnico. Associação Brasileira de Preservadores de Madeira: São Paulo. n. 36, 189p, 1985.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Informações sobre madeiras (Teca)**. Consultas online. São Paulo, SP. 2010. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/78.htm>. Acesso em: 11 nov. 2010.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p. 271 – 341. 2007.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. ed. 3. Universidade Federal do Paraná: Curitiba. 81p. 2005. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2010.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, v.1, 1968.

LIMA JUNIOR, D. L. et al. **Madeira de lei**. Universidade do Amazonas - UNAMA. 27p. 2008. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/madeira-de-lei-pdf-a14501.html>>. Acesso em: 10 maio 2010.

LIMA et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce – MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 32, p. 1053 – 1063, 2008.

LOVATTI, L. P. **Madeira serrada na região sul do Espírito Santo: comercialização e propriedades**. 2008. 118f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2008.

MADY, F. T. M. **Introdução à preservação da madeira**. Preservação da madeira. Universidade Federal do Amazonas: Departamento de Ciências Florestais. 12 p. 2000?.

MARRA, G. G. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 454p. 1992.

MENDES, L.M.; ARCE, J.E.. Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira. **Cerne**, Lavras, v.9, n. 2, p. 141-152, jul./dez. 2003

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Ministério da Educação e do Desporto. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 175p. 2010.

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

LIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora. p. 129 – 163, 2007.

- OLIVEIRA, J. T. S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hill.)**. 1988. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.
- PAES, J. B.; LIMA, C. R.; SILVA, J. M. **Variação Longitudinal e radial da densidade básica da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* D.C.)**. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 5. Belo Horizonte – MG, p. 225 – 234, 1995.
- PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology**. MC. Graw-Hill, New York. ed. 4, 722p, 1980.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 224p. 2003.
- REVISTA DA MADEIRA – REMADE. A retratibilidade da madeira. **Revista da madeira**. ed. 59. 2001.
- REVISTA DA MADEIRA – REMADE. Madeira – Teca. Qualidade e aspecto rústico agradam o mercado. **Revista da madeira**, n. 86, 2004.
- ROCHA, M. P. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPEF. Série Didática. ed. 5, 94p. 2001.
- SCHMIDT, O. **Wood and Tree Fungi: biology, damage, protection, and use**. Springer: Verlag Berlin Heidelberg. 334p. 2006.
- SEMENTES CAIÇARA. **Teca**. 2010. Disponível em: <<http://www.sementescaicara.com.br/Sementes/Teca/steca.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2010.
- SGAI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras**. 2000. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- SILVA, J. C. **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Engenharia Florestal. Viçosa – MG. 140p. 2005.
- SILVA, G. A. et al. Umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, ago. 2005.
- SKAAR, C. **Wood – water relations**. New York, Spring-Verlag, 1988.
- SKAAR, C. **Water in wood**. New York: Syracuse Univ. Press, 1972.
- SZÜCS, C. A. et al. **Estruturas de madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006. 186p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREST SERVICE –
USDA FOREST SERVICE. **Wood Technology Transfer Fact Sheet – *Tectona grandis* (Teak)**. Center for wood anatomy research. Research and Development: Forest Products Laboratory, Madison. 2010. Disponível em:
<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/TechSheets/Chudnoff/SEAsian_Oceanic/htmlDocs_SEAsian/tectonagrandis.html>. Acesso em: 17 dez. 2010.

WATAI, L. T. **Manual de colagem da madeira**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, 64p. 1995.

WIKIPÉDIA. **Madeira de teca**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Teca>>. Acesso em: 11 out. 2010.

ZENID, G. J. Comercialização da madeira no Brasil: a importância da correta identificação das espécies. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro, 3**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p. 73 – 97, 2008.

Site consultado:

<http://www.asminasgerais.com.br>. Acesso em: 20 jun. 2011.

CAPÍTULO I

**ANATOMIA DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE
DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS**

ANATOMIA DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS

Resumo

Este capítulo descreve a estrutura anatômica da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.), de árvores com quinze anos de idade, do município de Belo Oriente, estado de Minas Gerais – Brasil, e compara com dados obtidos de outros autores para a mesma espécie plantada em outros países. A descrição seguiu as recomendações da norma de procedimento em estudos de anatomia de madeira, da COPANT (1974) e também da IAWA (2007). As características gerais, macroscópicas e microscópicas da madeira de teca estudada não diferiram das encontradas por outros autores. Existiu variação em relação à idade nos parâmetros mensurados para fibra, em árvores mais velhas de plantações do continente asiático e africano, a tendência do comprimento de fibra e espessura de parede foi de aumentar com a idade da árvore, parâmetros analisados para raios e vasos foram semelhantes.

Palavras-chave: *Tectona grandis*. madeira. anatomia.

Abstract

This chapter describes the anatomical structure of teak (*Tectona grandis* L.f.) trees of fifteen years old, from Belo Oriente city at Minas Gerais state - Brazil, and compared with data obtained by other authors for the same species in other countries. The description followed the recommendations of standard procedure in studies of wood anatomy of COPANT (1974) and also the IAWA (2007). The general characteristics, gross and microscopic study of teak wood did not differ from those found by other authors. There was variation in relation to age in the parameters measured for fiber in older trees plantations of Asia and Africa. The tendency of fiber length and wall thickness was increased with tree age, parameters for rays and vessels were similar.

Keywords: *Tectona grandis*. wood. anatomy.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Tectona grandis* L. f., vulgarmente conhecida no Brasil como teca, é natural do Sudeste Asiático, é uma espécie arbórea de grande porte e produtora de madeira nobre. Ganhou importância no século XVIII, sobretudo para a construção naval, atualmente sendo muito procurada para mobiliário, pisos, decoração de interior e exterior, vigas e estacas.

A aplicação adequada da madeira ou de qualquer outro material está relacionada diretamente com o conhecimento das suas características, pois a determinação dos valores das diversas propriedades possibilita maior economia e segurança no emprego do material.

A anatomia da madeira torna-se, portanto, ferramenta indispensável no estudo qualitativo e quantitativo da estrutura que compõe o xilema, pois seu conhecimento é a base para qualquer emprego industrial que se pretenda destinar a madeira. Já é ciência própria, pela sua importância, mas está, ainda, intrinsecamente ligada à taxonomia, filogenia, botânica e à ecologia comparativa das plantas.

De acordo com Coradin e Camargos (2002) a análise anatômica é feita em nível macroscópico, pela análise de um bloco de madeira orientado nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, com o auxílio de uma lupa de aumento de 10x, além da análise microscópica de cortes finíssimos de madeira, também orientados nos três planos. Segundo os autores, para facilitar a visualização esses cortes são coloridos com produtos específicos.

Em função da árvore ser um ser vivo, seu desenvolvimento sofre influências externas e internas, conseqüentemente, a madeira, como produto oriundo do seu crescimento irá apresentar estrutura variável. Esta variação é em função principalmente de fatores genéticos, intrínsecos da espécie, e ambientais, relacionados ao clima, temperatura, tipo de solo, disponibilidade de água e nutrientes, ventos, exposição solar, incidência de pragas e doenças, espaçamento, entre outros fatores (CARVALHO, 1996).

As diferentes propriedades de uma madeira estão diretamente relacionadas com a sua estrutura, sendo esta variável na espécie, por exemplo,

em função da idade, fatores genéticos e ambientais e na árvore, no sentido axial e radial do tronco (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

A análise microscópica fornece maiores e melhores detalhes da estrutura que forma o xilema, mas exige a utilização de laboratório com equipamentos adequados para se preparar e analisar o material. Mas em ambos as análises a identificação da madeira se baseia nas diferenças morfológicas das estruturas anatômicas do lenho secundário (xilema secundário) de uma madeira adulta.

Desta forma, o estudo da estrutura anatômica da madeira de teca plantada no Vale do Rio Doce se faz necessário, visto que a teca é uma das madeiras tropicais mais valiosas, de excelente qualidade e altamente valorizadas pela sua resistência, durabilidade e beleza.

Este capítulo tem como objetivo descrever as propriedades anatômicas da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) proveniente do Vale do Rio Doce – Minas Gerais, com 15 anos de idade e comparar com outros resultados da literatura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL

O material estudado foi procedente da espécie *Tectona grandis* L.f. com idade de aproximadamente 15 anos, proveniente de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., no município de Belo Oriente no Vale do Rio Doce – Minas Gerais, que integra o Colar Metropolitano do Vale do Aço, localizada à 19° 15' 00" Sul 42° 22' 30" Oeste.

Foram obtidas, de povoamentos não desbastados, cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) tomado a 1,30 m do solo, de 28,0 cm, e cada árvore deram origem a duas toras de aproximadamente 3,0 m de comprimento. Posteriormente todas as toras foram desdobradas, transformadas em tábuas com aproximadamente 3,0 cm de espessura, 3,0 m de comprimento e largura variável, além de um pranchão central. A Figura 1.1 ilustra algumas toras de teca que foram utilizadas neste estudo.



Figura 1.1. Toras de *Tectona grandis* de 15 anos de idade.

2.2. CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

A caracterização da anatomia da madeira de teca foi realizada pela descrição dos caracteres organolépticos e dos caracteres em níveis macro e

microscópicos. Todas as amostras foram retiradas do lenho no cerne periférico, zona de transição entre cerne e alburno, das cinco árvores no DAP.

Para a descrição dos caracteres gerais e macroscópicos da madeira se utilizou o manual de descrição de características gerais, macroscópicas de madeiras de angiospermas dicotiledôneas da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1974). A determinação da cor da madeira seca ao ar seguiu a escala de Munsell (1957), usualmente adequada para madeiras. O estudo microscópico da madeira seguiu as recomendações da norma de procedimento em estudos de anatomia de madeira, da COPANT (1974) e também a lista de características microscópicas para a identificação de madeira da Associação Internacional de Anatomistas de Madeira (IAWA, 1989).

Para a mensuração dos vasos e raios, corpos de prova do cerne periférico foram retiradas com dimensões de 1,0 x 1,5 x 2,0 cm, nas direções radiais, tangenciais e longitudinais, respectivamente. Estas amostras foram amolecidas em água à temperatura de ebulição, em seguida fixadas em micrótomo de deslize, para obtenção de cortes histológicos com 18 a 20 μm de espessura dos planos transversal e longitudinal tangencial, e posteriormente foram montados em lâminas temporárias, utilizando glicerina e água destilada na proporção de 1:1.

Foram feitas fotomicrografias dos planos nas lâminas temporárias, por meio de uma câmera fotográfica digital de resolução de 7.1 megapixels, acoplada a um microscópio óptico comum. E com auxílio de um sistema de análises de imagem provido do “software”, foi possível mensurar a frequência vascular ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$) e diâmetro tangencial dos poros (μm) e para os raios foi mensurado a altura (μm e n° de células), largura (μm e n° de células) e frequência de raios (n°/mm), considerando 200 repetições.

Para a dissociação dos elementos anatômicos para mensuração das fibras, foi utilizado o método proposto por Nicholls e Dadswell descrito por Ramalho (1987). Amostras foram retiradas e no plano radial foram obtidos cavacos que em seguida foram transferidos para frascos de 25 mL contendo solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1. Estes frascos após serem completamente lacrados foram transferidos para estufa, mantidos a uma temperatura de 60°C, durante 48 horas.

Após esgotar a solução macerante, a suspensão de células foi lavada em água destilada, coloradas com safranina e lâminas histológicas foram montadas, com uso de água destilada e glicerina na proporção de 1:1. Em seguida fotomicrografias foram obtidas, pelo uso de câmera fotográfica digital acoplada a microscópio comum e um sistema de análises de imagem provido do “software”, como mencionado anteriormente.

As recomendações da norma COPANT (1974), foram seguidas para as mensurações das fibras. Foi mensurado o comprimento, largura de fibra (μm), e diâmetro de lume (μm), considerando 100 repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Na Figura 1.2, encontra-se a fotografia da seção transversal de uma tora de teca que ilustra a diferenciação entre a casca, cerne, alburno e medula.

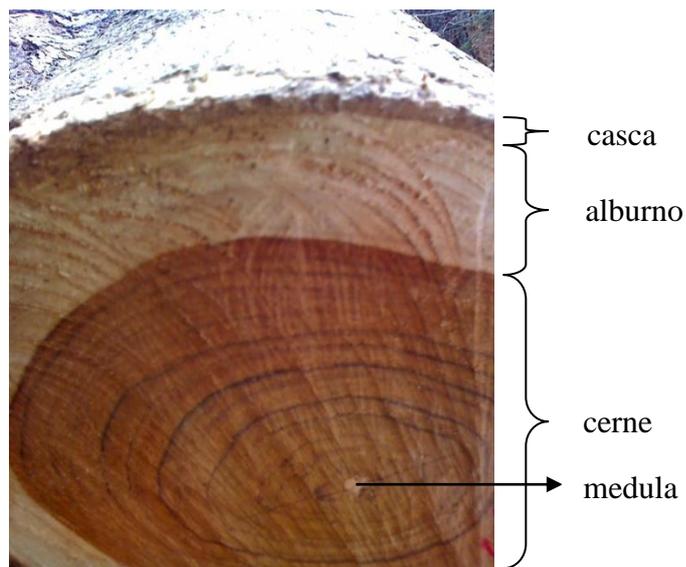


Figura 1.2. Seção transversal do tronco da madeira de *Tectona grandis* de 15 anos de idade.

A madeira possui alburno de coloração clara, distinto do cerne, que possui coloração pardo levemente esverdeado, de acordo com a escala de Munsell (1957) (Figura 1.3). De acordo com a Remade (2004), ao reportar a qualidade e o aspecto rústico da madeira de teca que agradam o mercado, descreveram quanto ao cerne da madeira de teca que sua coloração é castanho amarelado claro a escuro e quando exposto ao ar torna-se eventualmente castanho bem escuro.

A madeira apresenta brilho moderado na face longitudinal radial, cheiro característico e gosto ligeiramente amargo. É macia ao corte manual no plano transversal, grã direita e textura média. Apresenta figura ou desenho destacado por listras escuras e camadas de crescimento distintas. De acordo com o Serviço Florestal do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA Forest Service (2010), ao listar as propriedades das madeiras de folhosas

tropicais, classificou a madeira de teca, proveniente do continente asiático, com grã direita, às vezes ondulada e textura grossa, irregular por causa da porosidade em anel.

3.2 CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS

Na Figura 1.3, encontra-se a fotomicrografia do cerne periférico da madeira de teca, no plano transversal, com aumento de 10x.

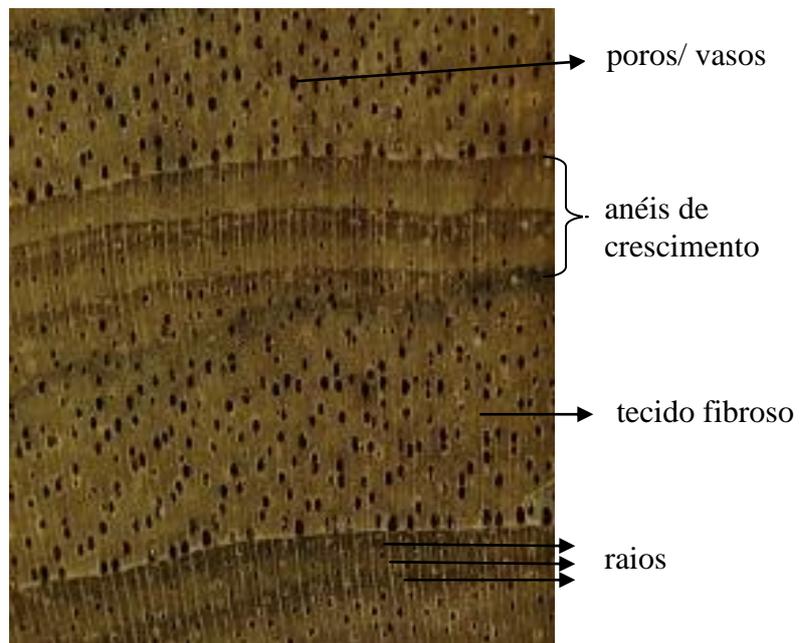


Figura 1.3. Fotomicrografia do cerne periférico da madeira de *Tectona grandis*, no plano transversal, (10x).

No plano transversal (Figura 1.3) a madeira de teca possui poros visíveis ao olho nu, porosidade em anéis semiporosos, arranjo radial, maioria solitários, às vezes obstruídos por óleo – resina e tiloses. Richter e Dallwitz (2000) ao descreverem algumas madeiras comerciais, identificaram que a madeira de teca apresentava porosidade em anéis porosos ou semi porosos, poros dispostos em padrão não específico, agrupados, geralmente 2 a 3 poros, em arranjo radial e presença de tiloses. Tais descrições estão de acordo com as informações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2010) para a madeira de teca. Resultado semelhante foi encontrado por Gurmartine e Goudzwaard (2010), relataram que a madeira apresenta porosidade em anel,

com os anéis de crescimento distintos, poros grandes, visíveis a olho nu, ovais, em sua maioria solitários e obstruídos por tiloses e também com depósitos esbranquiçados.

Ramos et al. (2005) ao estudarem a anatomia da madeira de teca proveniente de desbastes, com 7 anos de idade, também definiram o cerne de teca distinto do alburno, com coloração marrom a marrom escuro, porosidade em anel, solitários e múltiplos e a presença de depósitos esbranquiçados.

O parênquima radial e o parênquima axial em faixas marginais são visíveis sob lente de 10x. Richter e Dallwitz (2000) definiram o parênquima axial da madeira de teca, caracterizando-o como paratraqueal em faixas e vasicêntrico. As camadas de crescimento são individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e poros de pequeno diâmetro.

No plano longitudinal tangencial o parênquima radial é visível sob lente de 10x, com listrado de estratificação irregular. As linhas vasculares são retilíneas. No plano longitudinal radial, o espelhado dos raios é ausente.

3.3 CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS

Os valores médios, o coeficiente de variação (CV), bem como os valores mínimos e máximos para os caracteres anatômicos microscópicos mensurados da madeira de teca proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais estão apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Caracteres anatômicos do cerne periférico (DAP) da madeira de *Tectona grandis*

	Caracteres Anatômicos	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)
Vasos	Diâmetro tangencial (μm)	50,85	296,63	161,26	28,93
	Frequência ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)	1,00	9,00	3,98	41,08
Raios	Frequência (n°/mm)	3,00	7,00	4,90	20,93
	Altura (μm)	82,25	517,82	253,37	35,95
	Altura (n° células)	6,00	49,00	21,16	38,29
	Largura (μm)	11,87	40,68	23,27	25,23
	Largura (n° células)	2,00	5,00	3,04	19,37
	Comprimento (μm)	470	1.835	1.147	26,15
Fibras	Largura (μm)	13,19	50,20	29,75	23,35
	Diâmetro do lume (μm)	5,10	41,69	20,04	36,32
	Espessura de parede (μm)	2,34	8,48	4,86	26,21

Observa-se que os elementos vasculares possuem diâmetro tangencial que variaram de pequenos (50,85 μm) a grandes (296,63 μm), com predominância de poros médios (161,26 μm) (Tabela 1.1).

Segundo Richter e Dallwitz (2000), o diâmetro tangencial dos poros pode variar de 50 a 270 μm , sendo a variação causada pelo tipo de lenho analisado. No lenho tardio, ocorre de 50 a 100 μm , e no lenho inicial de 140 a 270 μm de diâmetro. Confirmado por Govaere et al. (2003), que ao realizarem a descrição anatômica, durabilidade, propriedades físicas e mecânicas da teca proveniente da Costa Rica, de árvores com 8, 17 e 28 anos, encontraram valores médios de diâmetro tangencial de vaso igual a 210 μm .

Nota-se uma frequência vascular média de 3,98 poros por mm^2 , o que classifica a madeira de teca com poros muito poucos numerosos, com uma variação de 1 a 9 poros por mm^2 e coeficiente de variação de 41,08% (Tabela 1.1). De acordo com Richter e Dallwitz (2000), a frequência vascular na madeira de teca em seu habitat natural é de 6 poros por mm^2 , variando entre 4 a 9 poros por mm^2 . Isto demonstra a baixa frequência vascular para a mesma espécie plantada no Vale do Rio Doce em Minas Gerais.

Valores médios de 9 poros por mm^2 foram relatados por Cardoso et al. (2006), ao estudarem a variabilidade anatômica para esta mesma espécie, proveniente do Timor – Leste, em árvores com idade entre 70 a 80 anos.

Com relação ao parênquima radial, sua frequência média foi de 4,90 raios por mm, ou seja, poucos raios por mm, variando de muito poucos a poucos, 3 e 7 raios por mm, respectivamente, com desvio padrão de 1,02 raios por mm e coeficiente de variação de 20,93%. Este resultado foi semelhante ao obtido por Richter e Dallwitz (2000), que obtiveram uma frequência radial na madeira de teca entre 5 a 7 raios por mm.

Os raios da madeira de teca aos 15 anos proveniente do Vale do Rio Doce são baixos, com altura média de 253,37 μm , com altura mínima de 82,25 μm e máxima de 517,82 μm . Resultado bem inferior ao obtido por Richter e Dallwitz (2000), que mencionam uma altura média para o raio da madeira de teca, de 500 a 1.000 μm . A altura média em número de células foi de 21,16 células, variando de 6 a 49 células. Este valor foi semelhante ao encontrado

por Govaere et al. (2003), que encontraram para a teca, raios com altura de 6 a 40 células.

Quanto à largura dos raios no cerne periférico, o valor médio foi de 23,27 μm , com largura mínima de 11, 87 μm e máximo de 40,68 μm , caracterizando-os como finos. Já para a largura dos raios em número de células a variação foi de 2 a 5 células, com valor médio de 3,04 células de largura, sendo classificados como multisseriados. Assim como a teca cultivada no continente Asiático e na Costa Rica, a largura dos raios variou entre 2, 4 e 5 células (RICHTER; DALLWITZ, 2000; GOVAERE et al., 2003; RAMOS et al., 2005).

A madeira de teca possui fibras libriformes, com comprimento médio de 1.147 μm , mas seu comprimento variou de fibras muito curtas a longas, com comprimentos de 470 a 1.835 μm , respectivamente (Tabela 1.1). Isto indica uma grande variação para este parâmetro mensurado, sendo maior que o relatado por Richter e Dallwitz (2000), que estipularam que o comprimento de fibra para a madeira de teca pode variar de 700 a 1.400 μm .

Os valores encontrados para o comprimento das fibras são próximos dos registrados para a teca por Freitas (1958, 1963) ao estudar as madeiras do Timor e da Índia Portuguesa e por Phengkklai et al. (1993), que encontraram 1.200 e 1.240 μm , com variação e de 700 μm a 1.400 μm , respectivamente. Também Bhat et al. (1989, 2001), ao estudarem a variação do comprimento das fibras no tronco e ramos de onze madeiras tropicais e na caracterização da madeira juvenil em teca, indicam valores muito semelhantes para as fibras de teca com 53 e 63 anos de idade, da Índia, com 1.200, 1.280, 1.500 μm ao nível de 50% de altura e de 1.100 μm e 1.380 μm no DAP, respectivamente.

Husen e Pal (2006) verificaram ao estudarem a variação na anatomia da parte aérea e comportamento de enraizamento de estacas em relação à idade da planta matriz em teca com árvores provenientes da Índia, que o comprimento médio das fibras aumentava com a idade das árvores, variando de 1.000 μm para 1.200 μm e aproximadamente 1.300 μm , para amostras de 2 meses, 15 e 30 anos de idade, respectivamente.

Quanto à largura das fibras, o valor médio foi de 29,75 μm , com mínimo de 13,19 μm , e máximo de até 50,20 μm . O diâmetro médio do lume

mensurado foi de 20,04 μm , com variação de 5,10 a 41,69 μm . A espessura de parede teve valor médio de 4,86 μm , mínimo de 2,34 μm e máximo de 8,48 μm , sendo portanto, fibras delgadas a espessas. Valores próximos foram obtidos por Freitas (1958, 1963), que determinaram em seu estudo para teca. Husen e Pal (2006) verificaram que a largura das fibras de teca na Índia aumentava com a idade das árvores, variando de próximo a 0 a 20 μm , para amostras de 2 meses, 15 e 30 anos de idade.

Govaere et al. (2003), para a teca plantada na Costa Rica, encontraram fibras com largura média de 25 μm , diâmetro do lume igual a 16 μm e espessura média da parede de 4,20 μm , valores semelhantes aos obtidos neste presente estudo. As fotomicrografias dos três planos anatômicos são apresentados na Figura 1.5.

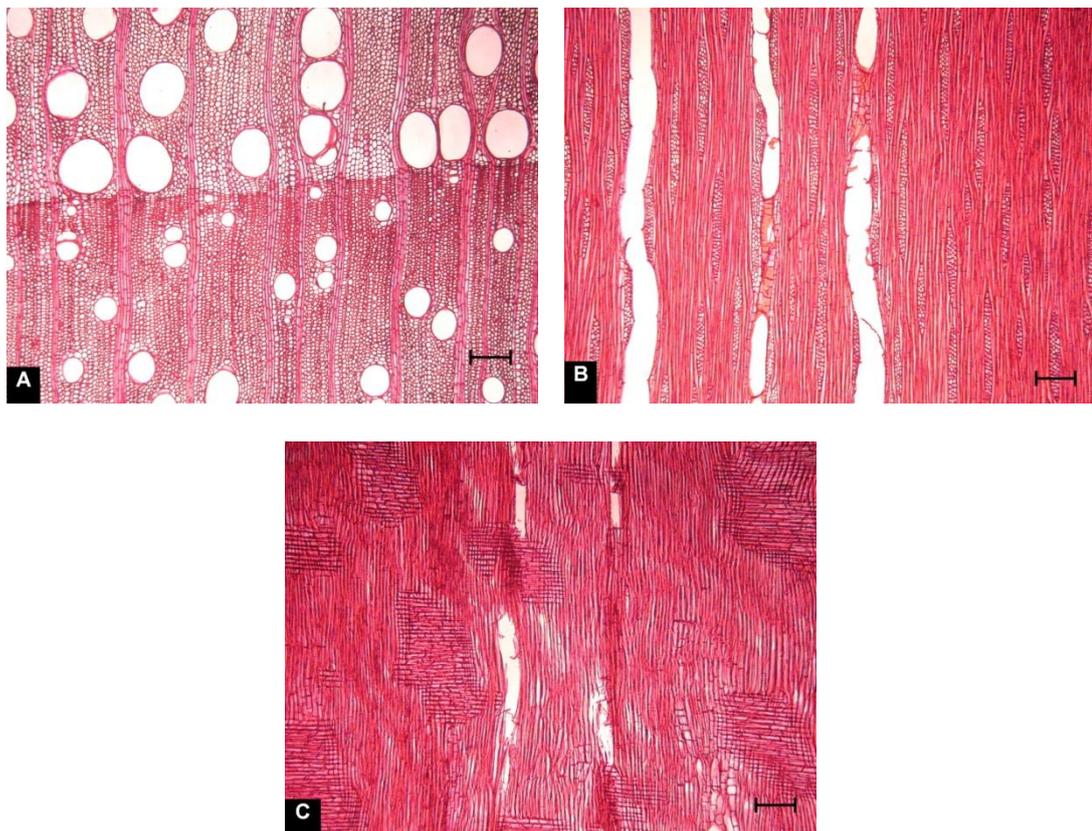


Figura 1.4. Fotomicrografias ilustrando o plano transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) para a madeira de *Tectona grandis*. Barra = 200 μm .

4. CONCLUSÕES

- Quanto a descrição das características gerais e macroscópicas, observa-se uma estreita semelhança com a mesma espécie proveniente de plantios nos continentes asiáticos ou africanos.
- É marcante a distinção entre cerne e alburno, a porosidade em anel semi porosos, cheiro característico, obstruções nos poros (tiloses ou substância esbranquiçada) e anéis de crescimento bem demarcados.
- Na avaliação quantitativa, com base na mensuração dos elementos anatômicos, como vasos, parênquima radial e fibra, novamente existe uma relação próxima dos valores obtidos entre a teca plantada na Ásia, África e na America do Sul.
- Mesmo em árvores com idades e locais distintos, a composição anatômica é relativamente próxima, visto que as condições de cultivo se assemelham em todos os locais onde a teca é plantada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHAT, K. M.; BHAT, K. V.; DHAMODARAN, T. K.. **Fibre length variation in stem and branches of eleven tropical hardwoods**. IAWA Bull, v. 1, n. 10, p. 63 – 70, 1989.

BHAT, K. M.; PRYIA, P. B.; RUGMINI, P. **Characterisation of juvenile wood in teak**. Wood Science and Technology, n. 34, p. 517 – 532, 2001. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/media/2724fr9efm0kujf97t6y/contributions/8/0/t/g/80tg1tg5k7klk0qq.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2010.

CARDOSO, S. et al. **Variabilidade anatômica da teca (*Tectona grandis*) de Timor-Leste**. In: Congresso Florestal Nacional, 6º. A floresta num mundo globalizado. Ponta Delgada, Açores, p. 536 – 543, 2009.

CARVALHO, A. **Madeiras Portuguesas: estrutura anatômica, propriedades, utilizações**. Instituto Florestal: Lisboa, v. I. 1996.

COSTA, A. **Anatomia da madeira**. Coletâneas de Anatomia da Madeira. 2001. Disponível em: www.joinville.udesc.br/sbs/.../APOSTILANATOMIA1.pdf. Acesso em: 11 maio 2010.

COMMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **Descripcion de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledoneas**. v. 30. p. 1 – 19. 1974.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **A Estrutura anatômica da madeira e princípios para a sua identificação**. Laboratório de Produtos Florestais – LPF: Brasília. 28 p. 2002.

FREITAS, M. C. P. G.. **Estudo das madeiras de Timor**. II Contribuição. Ministério do Ultramar. Memórias da Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa. ed. 2, n. 5, 1958.

FREITAS, M. C. P. G. **Madeiras da Índia Portuguesa**. Memórias da Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa, n. 47. 1963.

GOVAERE, G.; CARPIO, I.; CRUZ, L.. **Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis***. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica, 2003. Disponível em: <<http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/ARTICULO%20LPF%201.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

GURMARTINE, T; GOUDZWAARD, L. **Tree factsheet *Tectona grandis* L.**. Forest Ecology and Forest Management Group: Wageningen University. 2010. Disponível em: <<http://webdocs.dow.wur.nl/internet/fem/uk/trees/tecgraf.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

HUSEN, A.; PAL, M. Variation in shoot anatomy and rooting behaviour of stem cuttings in relation to age of donor plants in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **New**

Forests, v. 31, p. 57 – 73. 2006. Disponível em: <<http://www.Springerlink.com/media/mftatkrxlm0jlu7pnqt1/contributions/3/1/3/0/3l30q7wtdex3rrx5.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2010.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS – IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219 – 332, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Informações sobre madeiras (Teca)**. Consultas online. São Paulo, SP. 2010. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/78.htm>. Acesso em: 11 nov. 2010.

MUNSEL, A.H. Munsel book of color: defining, explaining and illustrating the fundamental characteristics of color. **Munsel Color Company**. Baltimore, 1957.

PHENGKLAI, C. et al. **Tectona grandis L.f.**. 1993. Disponível em: <library.wur.nl/prosrom/tectona.html>. Acesso em: 12 nov. 2010.

RAMALHO, R. S. **O uso de maceração no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 4 p.

RAMOS, M. D. R. et al. **Wood anatomy of teak (*Tectona grandis* L.) and big-leafed mahogany (*Swietenia macrophylla* King) Thinn.** Forest Products Research and Development Institute. 2005. Disponível em: <<http://fprdi.dost.gov.ph>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

REMADE - REVISTA DA MADEIRA. Madeira – Teca. Qualidade e aspecto rústico agradam o mercado. **Revista da madeira**, n. 86, 2004.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. 2000. Disponível em: <<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/english/vertegra.htm>>. Acesso em: 11 nov. 2010.

TOMAZELLO FILHO, M. **Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil**. IPEF: Piracicaba – SP, n. 29, p. 25 – 36. 1985.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREST SERVICE – USDA FOREST SERVICE. **Wood Technology Transfer Fact Sheet – *Tectona grandis* (Teak)**. Center for wood anatomy research. Research and Development: Forest Products Laboratory, Madison. 2010. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documents/TechSheets/Chudnoff/SEAsian_Oceanic/htmlDocs_SEAsian_tectonagrandis.html>. Acesso em: 17 dez. 2010.

ZOBEL B. J.; BUIJTENEN, V. J. P. **Wood variation: Its Causes and Control**. Springer – Verlag. Berlin: Heidelberg, Germany. p. 363, 1989.

CAPÍTULO II

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS

Resumo

O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.), de árvores com quinze anos de idade, proveniente de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., localizada no município de Belo Oriente, estado de Minas Gerais, e serão comparados com dados obtidos de outros autores para a mesma espécie plantada em outros países. Como propriedades físicas foram determinadas o teor de umidade para controle dos ensaios, a retratibilidade e a massa específica aparente, e as propriedades mecânicas foram a resistência à flexão estática, à compressão paralela às fibras, ao cisalhamento, dureza Janka, ao fendilhamento e a tração normal às fibras. A madeira de teca foi caracterizada como madeira de densidade média a moderadamente pesada, estável dimensionalmente e apresentou valores médios de resistência semelhantes ao mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*). O teor de umidade teve pouca influência sobre as propriedades mecânicas. As características físicas e mecânicas determinadas possibilitaram comparar com resultados de outros autores, que demonstrou a semelhança do comportamento físico e mecânico da teca explorada em seu *habitat* natural e fora dele.

Palavras-chave: *Tectona grandis*. propriedades físicas e mecânicas. madeira.

Abstract

The objective of this work was to determine the physical and mechanical properties of teak (*Tectona grandis* L.f.), from a plantation of the enterprise Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., located in Belo Oriente, town at Minas Gerais State - Brazil, and will be compared with data obtained by other authors for the same species in other countries. Physical properties were determined as the moisture content to control the tests, the shrinkage and density, and mechanical properties were the resistance to bending, compression parallel to grain, shear strength, hardness and cross tensile to the fibers. The teak was characterized as medium density wood to moderately heavy, dimensionally stable and showed average resistance similar to the Brazilian mahogany (*Swietenia macrophylla*). The moisture content had little influence on the mechanical properties. The physical and mechanical properties were compared with the results of other authors, who demonstrated the similarity of physical and mechanical behavior of teak harvested in their natural habitat and the wood of this study.

Keywords: *Tectona grandis*. physical and mechanical properties. wood.

1. INTRODUÇÃO

A determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira deve ocorrer em laboratórios específicos, dotados com instrumentos projetados exclusivamente para tal finalidade, como por exemplo, a máquina universal de ensaio, que é o equipamento principal destes laboratórios, geralmente localizados em instituições de ensino e de pesquisa onde a madeira é alvo de estudo (OLIVEIRA, 2007).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997), existe um total de dez propriedades que devem ser determinadas na madeira, sendo três físicas e sete mecânicas. Portanto, compõe as físicas o teor de umidade, retratibilidade e massa específica aparente, e para as mecânicas a resistência à flexão estática, à compressão paralela às fibras, ao cisalhamento, à tração normal às fibras, à tração paralela às fibras, ao fendilhamento e a dureza.

Como parte do conhecimento sobre a estrutura da madeira, a determinação das propriedades físicas e mecânicas auxilia na otimização do uso desta matéria prima tão versátil, sobretudo para utilizações como material de construção e para a indústria moveleira.

As propriedades mecânicas se referem à forma como os materiais reagem aos esforços externos, apresentando deformação ou ruptura (AGOSTINI, 2005). De acordo com Lobão et al. (2004), há vários estudos relacionados à identificação de fatores que afetam as propriedades físico-mecânicas da madeira e os que podem ser inerentes à própria madeira, e ao ambiente onde a árvore se desenvolve.

Gutiérrez et al. (2008), mencionam que os testes para avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira são feitos, geralmente para adequar ao provável uso e fornecer ao engenheiro os dados necessários para o cálculo de estruturas de madeira. Para tal é importante que os dados obtidos permitam o uso adequado de madeira em seções mínimas e garantam a segurança em relação aos parâmetros de projeto.

A madeira é um excelente material de construção, por causa de suas propriedades de resistência mecânica elevada e densidade. Algumas

desvantagens como a higroscopicidade que permite a retração e o inchamento higroscópico, perda ou ganho de água em determinadas condições e limites provocando sua alteração dimensional e a anisotropia, caracterizada pela heterogeneidade dos constituintes que a compõe, tornam seu uso limitado ou incorreto (MADY, 2000?).

Os diversos tipos de madeira existentes proporcionam que o seu uso seja específico para cada tipo de aplicação. A escolha só pode ser acertada se forem conhecidos as propriedades físicas e sua resistência às solicitações mecânicas.

A estrutura anatômica condiciona as propriedades da madeira, devem-se distinguir valores correspondentes à tração dos de compressão, assim como os valores correspondentes à direção paralela às fibras em relação à direção normal às fibras. Além da distinção dos valores correspondentes às diferentes classes de umidade em cada ensaio. De acordo com Pfeil e Pfeil (2003) devido ao efeito da umidade em outras propriedades da madeira, é comum referirem-se estas propriedades em grau de umidade padrão.

Pelo aumento do uso da madeira de teca, e por ser considerada uma das madeiras mais valiosas do mundo, comparada com o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) em qualidade estética e tecnológica e sendo muito procurada e amplamente comercial, a determinação de suas propriedades pode torná-la ainda mais difundida no mercado brasileiro e internacional. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2010) a teca é uma das espécies florestais mais plantadas no Brasil, ficando atrás do eucalipto, pinus e acácia, sua madeira geralmente é destinada para a confecção de móveis finos, inclusive para jardim, esquadrias, pisos, bancadas para laboratório, moldes industriais, dornas e tanques para produtos químicos, em construção naval e decoração interior e exterior, bem como painéis de lâminas faqueadas e lambris.

Em locais onde a teca é nativa ou explorada em povoamentos florestais seu uso inclui o emprego generalizado da madeira de pequeno diâmetro dos desbastes e do alburno (REVISTA DA MADERIA, 2004). Uma grande heterogeneidade de madeira é utilizada em painéis de sarrafos colados, contendo madeira de cerne e de alburno, que apresentam propriedades físicas

e mecânicas distintas, que são utilizados na fabricação de móveis, portas, na decoração interna e na produção dos mais variados artigos. A madeira de pequeno diâmetro dos desbastes, na forma roliça ou simplesmente serrada, tem amplo uso na edificação de construções rústicas, seja como vigamento, esteio ou madeiramento do telhado.

Portanto, é necessário conhecer a madeira que está sendo utilizada e direcionar sua correta utilização. Este capítulo tem como objetivo determinar as propriedades físicas e mecânicas, comparar com resultados da literatura e verificar o efeito da variação da umidade nas propriedades mecânicas da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, com 15 anos de idade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL

O material estudado foi procedente da espécie *Tectona grandis* L.f. com idade de aproximadamente 15 anos, proveniente de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., no município de Belo Oriente no Vale do Rio Doce – Minas Gerais, que integra o Colar Metropolitano do Vale do Aço, localizada à 19° 15' 00" Sul 42° 22' 30" Oeste.

Foram obtidas, de povoamentos não desbastados, cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) tomado a 1,30 m do solo, de 28,0 cm, e cada árvore deram origem a duas toras de aproximadamente 3,0 m de comprimento. Posteriormente todas as toras foram desdobradas, transformadas em tábuas com aproximadamente 3,0 cm de espessura, 3,0 m de comprimento e largura variável, além de um pranchão central. De cada pranchão central, da primeira tora, retiraram-se amostras para as análises físicas e mecânicas.

2.2. MASSA ESPECÍFICA

A massa específica foi obtida pela determinação da densidade básica e a densidade aparente a 15% de umidade. Foi utilizado o método brasileiro MB26 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT de 1940. Foram utilizados 20 repetições e os corpos de prova nas dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0cm, com a última medida no sentido das fibras, retirados próximo ao DAP.

Os volumes das amostras saturadas e a 15% de umidade foram obtidos pelo método de deslocamento de massa ou balança hidrostática, com substituição da água pelo mercúrio, verificando em determinados períodos de tempo sua temperatura para efetuar correções na sua massa específica. Em seguida a massa das amostras foi determinada em uma balança de precisão de 0,01g.

Para a determinação da massa seca, as amostras foram colocadas em estufa, de ventilação forçada a uma temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Para maior

controle da secagem a perda de massa dos corpos de prova foi monitorada até permanecer constante.

2.3. TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade foi determinado para controle dos ensaios físicos e mecânicos. Utilizou-se o método gravimétrico, de acordo com o MB26 da ABNT (1940).

2.4. RETRATIBILIDADE

As deformações específicas da contração da madeira de teca foram consideradas como índice de estabilidade dimensional, determinadas para cada um dos planos de orientações, em função de suas dimensões, observadas quando a madeira se encontrava em estado de saturação (verde) e seca. Determinaram-se a contração volumétrica e as contrações lineares, totais e parciais, ou seja, a contração nas direções longitudinal – sentido das fibras, radial e tangencial de acordo com as recomendações do método brasileiro MB26 da ABNT (1940).

Para determinar a contração volumétrica e linear total, inicialmente as amostras verdes foram mantidas ao ar livre, e monitoradas até atingir o teor de equilíbrio do ambiente. Após atingir o teor de equilíbrio, as amostras foram pesadas, medidas e colocadas em estufa para completa secagem. Foram utilizados corpos de prova orientados nos sentidos axial, radial e tangencial, com dimensões nominais de 2,0 x 2,0 x 3,0cm, sendo a última medida na direção das fibras, com um total de 20 repetições.

Após a obtenção dos corpos de prova se iniciou as medições com a madeira acima de 28% de umidade. As medidas nos sentidos radial e tangencial foram feitas com micrômetro digital, precisão de 0,001mm e no sentido longitudinal, direção das fibras, se utilizou paquímetro digital, precisão de 0,01mm, em cada amostra, nos locais previamente estabelecidos e marcados com lápis cópia. Em seguida cada corpo de prova foi pesado para posterior controle do teor de umidade. Ao final foi determinado o fator anisotrópico total e parcial da madeira.

2.5. PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas determinadas foram a resistência a flexão estática, a compressão paralela às fibras, ao cisalhamento, a tração normal às fibras, ao fendilhamento e dureza.

Com exceção da resistência a tração normal que foi determinada de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR7190 da ABNT (1997), todas as demais propriedades mecânicas foram determinadas de acordo com o MB26 da ABNT (1940). Amostras foram retiradas do pranchão central para confecção dos corpos de prova.

Todos os ensaios de resistência mecânica foram realizados em máquina universal de ensaio com capacidade de 10.000 toneladas, com sistema de aquisição de dados automatizados.

Depois de realizados os ensaios mecânicos, as amostras de cada ensaio foram retiradas para determinação do teor de umidade no momento do ensaio. O objetivo foi realizar o ajuste dos resultados ao padrão de 12% de umidade, conforme a norma NBR 7190 da ABNT (1997), de acordo com a Equação 1, utilizada para os resultados de ensaios realizados em diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10% e 25%.

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

em que:

$f_{12\%}$ = Valor da resistência à 12% de umidade;

$f_{U\%}$ = Valor da resistência encontrada no teor de umidade ensaiado; e

$U\%$ = Umidade do corpo de prova no momento do ensaio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MASSA ESPECÍFICA

Na Tabela 2.1, encontram-se os valores médios da densidade básica e densidade aparente a 15% de umidade da madeira de teca.

Tabela 2.1. Massa específica da madeira de *Tectona grandis*

Massa específica aparente (g/cm ³)	
Básica	15% de umidade
(0,48)(0,64)*	(0,55)(0,73)
0,54	0,62
(7,34)*	(7,39)

* - Valores entre parênteses superiores são mínimo e máximo, respectivamente, inferiores coeficiente de variação (%).

De acordo com a Tabela 2.1, o valor médio de densidade básica para as árvores de teca foi de 0,54 g/cm³, que classifica a madeira como de média densidade de acordo com as normas da COPANT (1974). O Forest Products Laboratory – FPL (2010) encontrou para a madeira de teca originária da Ásia e Oceania valor médio semelhante, sendo igual a 0,55 g/cm³. Caldeira (2004) encontrou densidade básica de 0,58 g/cm³ em árvores com 70 e 80 anos provenientes do Timor Leste. Bhat et al. (2001), ao caracterizarem a madeira juvenil e adulta de teca, em árvores com 63 anos de idade, de plantios localizados em Kerala, sul da Índia, encontraram valores médios de densidade básica na madeira adulta, que variaram entre 0,54 a 0,57 g/cm³, e para madeira juvenil variou entre 0,56 a 0,57 g/cm³, ligeiramente superior ao deste estudo. Govaere et al. (2003), que ao determinarem para a madeira de teca, em árvores com idade média de 8, 17 e 28 anos, de diferentes localidades na Costa Rica, densidade básica igual a 0,50; 0,58 e 0,61 g/cm³, demonstraram que há um aumento desta propriedade em função da idade.

Segundo Trugilho et al. (1996) a densidade básica é uma característica resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Panshin e DeZeeuw (1980) citam que as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, das interações entre esses fatores e pela quantidade de extrativos presentes por unidade de volume na madeira.

Para a densidade a 15% de umidade, o valor médio encontrado foi de 0,62 g/cm³. Inferior ao determinado pelo IPT (1997), que determinou a densidade a 15% de umidade para a madeira de teca igual a 0,66 g/cm³.

Kokutse et al. (2004), ao determinarem a proporção e qualidade do cerne de teca de cinco zonas ecológicas do Togo, no continente africano, em árvores de idade entre 6 e 70 anos, encontraram valores de densidade à 12% de umidade para árvores jovens, entre 11 e 16 anos de 0,65 g/cm³. Neste mesmo estudo, os autores determinaram a densidade aparente à 12% de umidade, de árvores com idade de 40 a 45 e 67 a 70 anos, obtendo respectivamente densidade de 0,73 e 0,78 g/cm³.

Segundo Baillères et al. (2000) citado por Kokutse et al. (2004) a densidade aparente média da madeira de teca para um teor de umidade de 12% de florestas naturais da Indonésia, Tailândia e Mianmar é de 0,69, 0,62 e 0,70 g/cm³, respectivamente, para árvores com idade variando entre 40 a 70 anos. Observa-se que a idade da árvore e o teor de umidade interferem nesta propriedade. Segundo Cutler et al. (2008), a densidade da madeira é controlada pela espessura de parede celular e do teor de umidade contido nas amostras. Segundo os autores, estes fatores variam em função da localização dentro da árvore, da posição no anel de crescimento e pelo grau em que uma amostra de madeira secou.

Portanto, como a madeira de teca proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, apresentou densidade básica média, e ao relacionar com a espessura de parede de fibra, classificada neste estudo como delgada a espessa, estima-se que este fato possa ter contribuído para o resultado encontrado. De acordo com Malan (1995) citado por Trugilho et al. (1996) a espessura da parede das fibras está intimamente relacionada com a densidade da madeira, e as variações na espessura da parede entre e dentro das árvores são similares ao padrão de variação da densidade.

3.2. RETRATIBILIDADE

O valor médio encontrado para a contração e fator anisotrópico é apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Retratabilidade da madeira de *Tectona grandis*

Contração (%)	Total	Parcial
Radial	(1,50)(3,21)*	(0,94)(2,14)
	2,06	1,35
	(24,57)*	(25,85)
Tangencial	(2,99)(5,69)	(1,72)(3,48)
	4,09	2,52
	(19,11)	(20,23)
Longitudinal	(0,03)(0,74)	(0,03)(0,83)
	0,29	0,29
	(77,35)	(83,30)
Volumétrica	(4,93)(8,87)	(3,04)(5,81)
	6,33	4,12
	(17,45)	(19,40)
Fator anisotrópico	(1,74)(2,65)	(1,60)(2,26)
	2,02	1,89
	(12,01)	(9,72)

* - Valores entre parênteses superiores são mínimo e máximo, respectivamente, inferiores coeficiente de variação (%).

Verifica-se na Tabela 2.2, que os resultados obtidos estão semelhantes ao determinado pelo IPT (2010), sendo as contrações totais radial, tangencial e volumétrica igual a 2,1; 4,6 e 6,7%, respectivamente. Todavia, a variação dimensional da madeira varia conforme a espécie, mas que em média a contração tangencial varia entre 7 e 14%, a radial de 3 a 6%, a longitudinal de 0,1 a 0,4% e a contração volumétrica de 8 a 26% (PFEIL e PFEIL, 2003; OLIVEIRA, 2007)

Govaere et al. (2003) encontraram para árvores de teca proveniente da localidade de Abangares, na Costa Rica, com idade de 17 anos, valores semelhantes aos obtidos neste estudo, para a contração total radial, tangencial e volumétrica, igual a 2,2; 3,9 e 6,2%. O que não foi constatado por Caldeira (2004) ao estudar a contração da madeira de teca do Timor Leste, que obteve para a contração radial, tangencial e longitudinal valores médios iguais a 3,50; 5,17 e 0,49%, respectivamente, e contração volumétrica igual a 7,60%. O autor ainda classifica a madeira quanto a contração radial e tangencial como baixa, e a volumétrica como baixa ou madeira pouco retrátil.

Os valores médios para as contrações totais no sentido radial, tangencial e para a contração volumétrica foi semelhante ao determinado para a madeira de teca (*T. grandis*) proveniente da Ásia e Oceania, segundo o FPL

(2010), cuja contração radial, tangencial e volumétrica determinada foi igual a 2,5; 5,8; e 7,0%, respectivamente, garantindo pequena movimentação em serviço, classificada como madeira de alta resistência à absorção de água.

De acordo com Moreschi (2010), para a madeira de teca a contração radial, tangencial e longitudinal é de 3,0; 5,8; 0,6%, e contração volumétrica de 9,4%. Resultados acima do que foi observado no presente estudo.

Govaere et al. (2003), ao determinarem as contrações da madeira de teca de plantios de localidade diferentes e diferentes idades, 8, 17 e 28 anos, na Costa Rica, identificaram que existiu um aumento na taxa de contração, relação T/R, com o aumento da idade das árvores. Eles mencionam que o aumento das contrações gera problemas de torções e rachaduras ao longo da secagem, por isso eles esperam maiores problemas com a madeira proveniente de árvores mais velhas.

O fator anisotrópico, para a madeira de teca, proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, foi igual a 1,99 e 1,86, para a relação T/R total e parcial, respectivamente. Estes valores são superiores ao encontrado por Caldeira (2004), para a madeira de teca do Timor Leste, que o fator anisotrópico foi igual a 1,55, considerado baixo pelo autor. Moreschi (2010) menciona que para a madeira de teca o valor médio do fator anisotrópico é de 1,93. Segundo Oliveira (2007), o coeficiente anisotrópico varia de 1,3 a 1,4 para madeiras mais estáveis, a mais de 3 como no caso de algumas madeiras pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. Logo, a madeira de teca deste estudo é considerada mediana estabilidade dimensional que ainda poderia ser utilizada na construção civil, movelaria, confecção de portas, lambris, pisos e laminação.

3.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os valores médios das propriedades mecânicas determinadas para a madeira de teca no estado verde e a 12% de umidade, proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Propriedades mecânicas da madeira de *Tectona grandis*

Propriedades	Teor de Umidade		
	Verde	12%	
Flexão Estática	MOR (kgf/cm ²)	932 (10,77)*	1.007 (10,19)
	MOE (kgf/cm ²)	92.698 (13,39)	96.498 (10,85)
	Trabalho (J)	15 (28,67)	16 (42,71)
Compressão Axial	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	394 (11,02)	553 (5,13)
Cisalhamento	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	118 (7,64)	125 (7,79)
	Paralela às fibras (kgf/cm ²)	501 (11,76)	512 14,87
Dureza Janka	Radial (kgf/cm ²)	488 (19,53)	491 (12,70)
	Tangencial (kgf/cm ²)	472 (16,85)	486 (13,18)
	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	8 (15,73)	7 (13,67)
Fendilhamento	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	8 (15,73)	7 (13,67)
Tração Normal	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	39 (15,76)	54 (13,23)

* - Coeficiente de variação (%).

Ao se comparar os valores médios do MOR e MOE obtidos no teor de umidade verde, observa-se pequeno aumento dos seus valores médios ao comparar com os resultados da madeira no teor de umidade de 12%.

Segundo Oliveira (2007), a madeira com 12% de teor umidade tem até o dobro da resistência daquela verde. Portanto o acréscimo no MOR e MOE da madeira de teca devido a secagem é normal e desejável, pois otimiza-se tais propriedades. De acordo com o autor em muitas madeiras, o valor da resistência a compressão axial ou paralela às fibras ao teor de umidade de 15%, são superiores a 50% do valor da propriedade na madeira verde.

O aumento na resistência mecânica à 12% de umidade em relação ao estado verde para a madeira de teca, com 15 anos de idade proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, estão apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Acréscimo na resistência mecânica a 12% de umidade em relação ao estado verde da madeira de *Tectona grandis*

Propriedades	Acréscimo (%)	
Flexão Estática	MOR (kgf/cm ²)	8
	MOE (kgf/cm ²)	4
	Trabalho (J)	4
Compressão Axial	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	40
Cisalhamento	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	6
Dureza Janka	Paralela (kgf/cm ²)	2
	Radial (kgf/cm ²)	1
	Tangencial (kgf/cm ²)	3
Fendilhamento	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	-17
Tração Normal	Tensão Máxima (kgf/cm ²)	38

Observa-se na Tabela 2.4, que houve pequena influência da umidade na resistência. Apenas para a resistência à compressão axial e tração normal às fibras, verifica-se acréscimo na resistência com a secagem, de aproximadamente 40 e 38%, respectivamente. O acréscimo nos valores médios para as demais resistências com a madeira verde e a 12% ficou abaixo de 10%. Para o fendilhamento houve um decréscimo da resistência com a secagem da madeira, contrariando informações da literatura.

Para a madeira de teca proveniente da Ásia, com densidade básica de 0,55 g/cm³, o Forest Products Laboratory – FPL (2010) encontrou valor médio para o MOR igual a 800 e 1.007, e para o MOE valor médio igual a 94.000 e 107.000, no teor de umidade verde e a 12%, respectivamente.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2010), determinou para a madeira de teca, com densidade aparente a 15% de umidade igual a 0,66 g/cm³, um MOR a 15% de umidade igual a 920 kgf/cm², e MOE no teor de umidade verde igual a 93.070 kgf/cm². É importante destacar que o valor médio a 12% de umidade para o MOR obtido para a madeira de teca neste estudo foi maior do que o apresentado para a mesma espécie pelo IPT, ao estudar importantes madeiras comercializadas no Brasil.

Gutiérrez et al. (2008) ao realizarem a análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de teca proveniente de Balzar, no Equador, determinaram um MOR e MOE inferior ao obtido para a mesma espécie neste estudo. Os valores determinados pelos autores com a madeira a 12% de umidade e densidade básica de $0,52 \text{ g/cm}^3$, para o MOR e MOE foram respectivamente, 755 e 93.450 kgf/cm^2 , portanto, classificada os mesmos como madeira de baixa resistência.

Com relação à resistência a compressão paralela às fibras ou axial, observa-se na Tabela 2.3, valor médio no teor de umidade verde e a 12% igual a 394 e 553 kgf/cm^2 , respectivamente. Tais valores são superiores ao determinado pelo IPT (2010) para a madeira de teca, no teor de umidade de 15%, onde o valor médio foi de 470 kgf/cm^2 . Este resultado novamente evidencia um aumento na resistência da madeira com a perda de umidade.

Estes resultados se assemelham ao encontrado pelo FPL (2010) para a madeira de teca proveniente da Ásia, com densidade básica igual a $0,55 \text{ g/cm}^3$, que obteve resistência a compressão paralela no teor de umidade verde e a 12%, igual a 411 e 580 kgf/cm^2 , respectivamente. Caldeira (2004) encontrou para a madeira de teca proveniente do Timor – Leste, de densidade básica igual a $0,58 \text{ g/cm}^3$, resistência a compressão paralela no teor de umidade de 12% igual a 511 kgf/cm^2 .

Relativo a resistência ao cisalhamento, na Tabela 2.3, nota-se que o valor médio obtido para a madeira de teca no teor de umidade verde e a 12% foi igual a 118 e 125 kgf/cm^2 . Govaere et al. (2003) ao estudarem a madeira de teca de árvores com idade de 8, 17 e 28 anos, provenientes de Quepos e Abangares, na Costa Rica, determinaram valores médios de resistência ao cisalhamento menores aos obtidos neste estudo.

Segundo estes autores, na localidade de Quepos, árvores com idade de 28 anos e densidade básica de $0,61 \text{ g/cm}^3$, apresentaram resistência ao cisalhamento no teor de umidade verde e seco ao ar (11%) igual a 111 e 121 kgf/cm^2 , já em Abangares, árvores com idade de 17 anos e densidade básica de $0,58 \text{ g/cm}^3$, apresentaram resistência ao cisalhamento no teor de umidade verde e seco ao ar de 102 e 123 kgf/cm^2 . Verifica-se pouca influência da densidade nos resultados obtidos, que contraria a informação de que com o

aumento da densidade a resistência ao cisalhamento aumenta (OLIVEIRA, 2007; MORESCHI, 2010).

Neste caso, além da densidade, a resistência ao cisalhamento depende principalmente do sentido em que o esforço é aplicado em relação os anéis de crescimento. De acordo com Moreschi (2010), a ruptura ocorre no plano tangencial ou radial. Segundo o autor, enquanto no plano tangencial há uma grande influência da diferença entre os lenhos inicial e tardio, no plano radial há grande influência dos raios da madeira.

Além dos fatores citados, a resistência ao cisalhamento é inversamente proporcional ao teor de umidade, porém há demonstrações de que o incremento médio de resistência desta propriedade com o decréscimo em teor de umidade é menor que o observado para as resistências à flexão e à compressão (MORESCHI, 2010).

Os valores médios para dureza Janka (Tabela 2.3), na direção paralela às fibras, radial e tangencial, no teor de umidade verde e a 12% foram de 501 e 512 kgf/cm², 488 e 491 kgf/cm², 472 e 486 kgf/cm², respectivamente. Estes resultados são maiores aos obtidos pelo FPL (2010), que determinou para o teor de umidade verde e a 12%, dureza para a madeira de teca asiática, com densidade básica de 0,55 g/cm³, de 410 e 440 kgf/cm², respectivamente.

Valores superiores foram encontrados por Govaere et al. (2003), para árvores de teca com 17 anos de idade, em plantios localizados em Abangares, na Costa Rica, e madeira de densidade básica igual a 0,58 g/cm³. Estes autores encontraram para valor médio no teor de umidade verde e seco ao ar (11%), dureza Janka, na direção paralela às fibras, igual a 587 e 547 kgf/cm², respectivamente, e perpendicular às fibras valor médio de 600 e 661 kgf/cm². O IPT (2010) determinou valor médio da dureza Janka paralela às fibras para a madeira de teca, no estado verde (densidade aparente a 15% de umidade igual a 0,66 g/cm³) igual a 560 kgf/cm². Valor superior ao determinado para a madeira de teca, proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

Para a resistência ao fendilhamento, o valor médio nos teores de umidade verde e a 12%, foi de 8 e 7 kgf/cm², respectivamente (Tabela 2.3). Observa-se uma pequena redução do valor médio com a secagem da madeira. Este ensaio é utilizado meramente para fins qualitativos ou de comparação

entre espécies, todavia, este ensaio poderá ser útil em análises estruturais, principalmente no comportamento das ligações (OLIVEIRA, 2007; ABNT, 1997).

Os valores médios da resistência à tração normal, na Tabela 2.3, no teor de umidade verde e a 12% foram iguais a 39 e 54 kgf/cm², respectivamente. Tais valores foram superiores ao obtido por Caldeira (2004), que determinou para a teca proveniente do Timor – Leste (densidade básica a 0,58 g/cm³, à 12% de umidade) valor médio de 25 kgf/cm². De acordo com o autor a Science and Technology of Wood divulgou o valor médio da resistência a tração normal para a mesma espécie, igual a 40 kgf/cm², semelhante ao determinado neste estudo.

4. CONCLUSÕES

- Ao determinar as propriedades físicas da madeira de teca proveniente do Vale do Rio Doce – MG, com idade de 15 anos, constatou-se que a mesma possui massa específica aparente varia entre média a moderadamente pesada, estabilidade dimensional mediana, com baixos valores de contração volumétrica.
- Os valores médios de resistência mecânica foram próximos aos encontrados na literatura para a mesma espécie proveniente da Ásia, Oceania, Costa Rica, África e Brasil.
- O teor de umidade teve pouca influência nos valores médios de resistência, ao comparar os resultados da madeira de teca proveniente do Vale do Rio Doce, verde e a 12% de umidade em função da porcentagem de acréscimo na resistência.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI, B. M. **Determinação das propriedades mecânicas da madeira.** Laboratório de Resistência dos Materiais. 20 p. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ensaio físicos e mecânicos da madeira – MB-26/40.** Rio de Janeiro, 1940. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Projeto de estruturas de madeira – NBR7190.** Projeto de Revisão NBR7190. Rio de Janeiro, 2010. 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009.** Brasília, DF. 140p, 2010. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatistica.s.asp>>. Acesso em: 07 dez. 2010.

BHAT, K. M.; PRYIA, P. B.; RUGMINI, P. **Characterisation of juvenile wood in teak.** Wood Science and Technology, n. 34, p. 517 – 532, 2001.

CALDEIRA, B. R. P. P. **Caracterização das propriedades físico-mecânicas e determinação da percentagem de cerne da madeira de *Tectona grandis*.** Universidade Técnica de Lisboa: Instituto Superior de Agronomia. 84 p. 2004.

COMMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **Descripcion de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledoneas.** v. 30. p.1-19. 1974.

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. **Properties and utilization of wood.** In: CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. Plant anatomy: an applied approach. Oxford: Blackwell Publishing. v. 3, ed. 23, p. 453 – 472, 2008.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – LPF. **Wood handbook – Wood as an engineering material.** General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. ed. 100, 508 p. 2010.

GOVAERE, G.; CARPIO, I.; CRUZ, L.. **Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis*.** Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica, 2003. Disponível em: <<http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/ARTICULO%20LPF%201.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

GUTIÉRREZ. R. C. et al. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L.F.) de Quevedo y Balzar. **Revista Ciencia y Tecnología.** v. 2, n. 1, p. 55 – 63. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT/ SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – SCTDE. **Madeiras: material para o design**. São Paulo: IPT, 1997. 73p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Informações sobre madeiras (Teca)**. Consultas online. São Paulo, SP. 2010. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/78.htm>. Acesso em: 11 nov. 2010.

KOKUTSE, A. D. et al. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f.). **Forest Ecology and Management**. n. 189, p 37 – 48, 2004.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 6, p. 889 – 894, 2004.

MADY, F. T. M. **Introdução à preservação da madeira**. Preservação da madeira. Universidade Federal do Amazonas: Departamento de Ciências Florestais. [s.d.], 12 p.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira. Ministério da Educação e do Desporto**. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 175 p. 2010.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora. p. 129 – 163, 2007.

PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology**. MC. Graw-Hill, New York. ed. 4, 722p, 1980.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 224 p. 2003.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94 – 111, 1996.

VITAL, B. R. Métodos de determinação de densidade da madeira. **Boletim técnico**, Viçosa, MG, SIF. 21p. 1984.

CAPÍTULO III

**ADESÃO DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO
VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS**

ADESÃO DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, Minas Gerais.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de adesão da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.), de árvores com quinze anos de idade, proveniente de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., localizada no município de Belo Oriente, estado de Minas Gerais – Brasil. Os adesivos utilizados foram o Cascophen RS-216-M, à base resorcinol – formaldeído, Cascamite PL-2030, à base de uréia – formaldeído, ambos termofixos e dois termoplásticos à base de acetato de polivinila, o Cascorez 2500 e Cascorez 2590. Foi determinada a resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola e a falha na madeira. A madeira de teca obteve maiores valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola para os adesivos termoplásticos, principalmente para o Cascorez 2590, superior a resistência ao cisalhamento da madeira sólida. Em relação à falha na madeira o adesivo Cascophen RS-216-M proporcionou maior valor médio para este parâmetro. Em todos os parâmetros avaliados, os resultados obtidos estão de acordo com as especificações internacionais para utilizações estruturais, mesmo sendo a madeira de teca considerada de difícil colagem.

Palavras-chave: madeira. *Tectona grandis*. adesivos. adesão.

Abstract

The objective of this work was to study the adhesion behavior of teak (*Tectona grandis* L.F.) trees with fifteen years old, from a plantation of the enterprise Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., located in Belo Oriente city, Minas Gerais state – Brazil. The adhesives used were Cascophen RS-216-M, based resorcinol – formaldehyde, Cascamite PL-2030, based on urea - formaldehyde, both thermoset and thermoplastic based on two polyvinylacetate, the Cascorez 2500 and Cascorez 2590. Were determined the shear strength by compression in the glue line and wood failure. The teak wood showed higher values of shear strength at the glue line for thermoplastic adhesives, especially for Cascorez 2590, higher shear strength of solid wood. Concerning the failure in the wood adhesive boundary Cascophen RS-216-M provided a higher average value for this parameter. In all the appraised parameters, the obtained results are in agreement with international standards, even being wood teak considered difficult to glue.

Keywords: wood. *Tectona grandis*. adhesives. adhesion.

1. INTRODUÇÃO

O uso da madeira proveniente de reflorestamento para uma diversidade de usos industriais está sendo cada vez maior, como por exemplo, na construção civil em geral, indústrias de embalagens e de painéis e o setor moveleiro, que absorvem grande parte dessa matéria prima. Porém a qualidade final dos produtos originados depende do correto processamento dessa matéria prima.

De acordo com Passos et al. (2006), por causa da capacidade de adesão da madeira e com o auxílio de adesivos podem-se obter um grande número de produtos derivados da madeira. A utilização de produtos à base de compostos de madeira é cada vez mais comum. Assim é importante estudar e compreender o comportamento entre a madeira e o adesivo utilizado na confecção de produtos colados (ALBINO et al., 2010). A madeira colada tem como maior vantagem a possibilidade de aproveitamento de uma grande quantidade de madeira de pequenas dimensões para serem usadas como parte de componentes de vigas estruturais ou no setor moveleiro (LOBÃO; GOMES, 2006; VITAL et al., 2006; LIMA et al., 2008).

Com a colagem de peças de madeira, há um aumento considerável na qualidade do produto formado. A tecnologia da adesão promove uma maior homogeneização das propriedades tecnológicas da madeira, além de impedir a exploração excessiva das florestas (MACIEL et al., 2010). A utilização da madeira colada está vinculada à possibilidade de utilizar madeira exclusivamente de reflorestamentos, que possuem espécies de rápido crescimento, com massa específica que varia entre baixa a média, que para a confecção de painéis conferem rigidez suficiente para aplicação estrutural, capazes de cobrir grandes vãos (COSTA TIENNE, 2006).

A escolha correta do tipo de adesivo é determinante para o sucesso da operação de colagem, pois os adesivos têm como função auxiliar na transferência e distribuição de cargas entre os componentes, aumentando a resistência e rigidez dos produtos de madeira (FRIHART; HUNT, 2010). A tecnologia de desenvolvimento de novos adesivos é grande, devido ao avanço

da química, devendo, portanto serem estudados aqueles adesivos que melhor se adaptem e interajam com os diferentes tipos de madeira (LIMA et al., 2008).

Normalmente na colagem de madeira são utilizados adesivos termorrígidos ou termofixos e termoplásticos. Adesivos termofixos são todos aqueles em que no processo de cura, seja por ação de calor ou por ação de catalisador, o adesivo adquire resistência à água, à umidade e ao calor, como os fenólicos, ureícos, resorcínicos. Estes adesivos são utilizados na fabricação de compensado, na laminação e na colagem de produtos resistentes a umidade, como barcos, estruturas de madeira, móveis de exterior, produtos esportivos, compensados navais, carrocerias de caminhão, indústria aeronáutica, em laminados decorativos, entre outros. Já os termoplásticos sofrem modificações através do calor, a uma dada temperatura, apresentam alta viscosidade podendo ser conformados e moldados assumindo uma natureza termoplástica, secam apenas pela evaporação do solvente, resultando uma colagem de baixa resistência térmica e baixa resistência a ambientes úmidos, como os polivinílicos (PVA), utilizados para colagens em produtos de interior e fora do contato com a umidade ou em produtos que estão em contato com a umidade tanto em interior quanto em exterior (REVISTA DA MADEIRA, 2008).

Na otimização do uso dos adesivos, deve-se também levar em consideração o aspecto econômico, uma vez que na utilização estrutural o seu custo é fator limitante no desenvolvimento de produtos (PLASTER et al., 2008). Por isso a escolha do tipo de adesivo a ser utilizado, deverá ser em função do custo e adequação de seu uso para determinado tipo de madeira a ser colada.

A madeira de teca (*Tectona grandis*), proveniente de desbastes programados, de reflorestamento manejado, principalmente no estado do Mato Grosso, Acre e Amazonas, está sendo muito utilizada pelas indústrias na forma de madeira laminada colada. Seu uso é indicado principalmente para a confecção de painéis de madeira sólida ou de móveis, com a utilização de madeira de pequenas dimensões. A escolha do adesivo utilizado para as operações de colagem para este tipo de matéria prima depende de estudos para determinar o tipo de adesivo a ser utilizado em determinado produto, podendo ser termoplástico ou termofixo.

Em função da carência de informações sobre qual o melhor tipo de adesivo a ser utilizado na colagem da madeira de teca, este capítulo tem como objetivo verificar o comportamento de adesão da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, com 15 anos de idade, e indicar o melhor adesivo para ser utilizado em colagens de produtos sólidos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL

O material estudado foi procedente da espécie *Tectona grandis* L.f. com idade de aproximadamente 15 anos, proveniente de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., no município de Belo Oriente no Vale do Rio Doce – Minas Gerais, que integra o Colar Metropolitano do Vale do Aço, localizada à 19° 15' 00" Sul 42° 22' 30" Oeste.

Foram obtidas, de povoamentos não desbastados, cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) tomado a 1,30 m do solo, de 28,0 cm, e cada árvore deram origem a duas toras de aproximadamente 3,0 m de comprimento. Posteriormente todas as toras foram desdobradas, transformadas em tábuas com aproximadamente 3,0 cm de espessura, 3,0 m de comprimento e largura variável, além de um pranchão central.

Após a secagem ao ar livre, foram selecionadas ao acaso tábuas tangenciais da primeira tora, para obter amostras próximas ao DAP. As tábuas foram beneficiadas em peças, com dimensões de 2,4 cm de espessura, 7,0 cm de largura e comprimentos de 35 e 65 cm.

Em seguida as réguas foram acondicionadas em câmara climática (Figura 3.1), com controle automático de temperatura e umidade relativa do ar, sob temperatura de 25°C e umidade relativa do ar de 75%, durante aproximadamente 65 dias para atingir teor de umidade de 15% e serem coladas. Neste período foi feito monitoramento constante, com pesagem de amostras de controle para assegurar que a madeira realmente estivesse no teor de umidade desejado, e posteriormente confeccionados os corpos de prova para o ensaio de adesão.

2.2. ADESIVOS

Foram utilizados quatro adesivos, sendo dois termofixos (Cascophen RS-216-M e Cascamite PL-2030) e dois termoplásticos (Cascorez 2500 e Cascorez 2590), ambos produzidos pela empresa Hexion™.

2.2.1. Cascophen RS-216-M

É uma resina à base de resorcinol – formaldeído, em solução álcool/água, especialmente recomendada para colagens resistentes à água fria ou fervente, a muitos solventes orgânicos, fungos e mofo, ao calor seco ou úmido. Cola perfeitamente todos os tipos de madeira, chapas duras e outros materiais semelhantes, proporcionando uma liga perfeitamente durável.

Excelente para trabalhos navais, hidráulicos e outros, onde a colagem deverá ficar exposta temporária ou definitivamente à ação das intempéries, água, como é o caso de barcos, escadas e caixas d'água.

Possui viscosidade de 500 a 1000 Centi poise (Cp), teor de sólidos de 50 a 60% e pH entre 6,8 a 7,7.

Obrigatoriamente foram adicionados 20% de catalisador para secagem a frio, denominado Preparado Endurecedor FM-60-M (em pó) e 5% de álcool para melhorar a penetração da cola, de acordo com recomendações do fabricante.

2.2.2. Cascamite PL-2030

É uma resina sintética, líquida aquosa, à base de uréia – formaldeído, indicada para colagem de madeiras em geral, folheações, chapas duras e fabricação de compensados, com características de baixa emissão de formol, projetada para os trabalhos em prensagem à frio, quando usada em conjunto com o Preparado Endurecedor HLE-30.

Possui aspecto líquido, branco leitoso, viscosidade de 600 a 1000 Cp, teor de sólidos de 64 a 66%, pH entre 7,4 a 8,0 e máximo de 1% de formol livre.

Para a prensagem a frio, foi adicionado catalisador Preparado Endurecedor HLE-30 juntamente com um extensor, de acordo com as recomendações do fabricante. Foi utilizada a seguinte proporção, de acordo com recomendações do fabricante: 100 partes de adesivo, 20 partes de farinha de trigo, 20 partes de água e 7 partes do catalisador.

2.2.3. Cascorez 2500 e Cascorez 2590

Ambos os adesivos são emulsão aquosa à base de acetato de polivinila (PVA), isentos de formaldeído, emprega água como diluente, indicados para colagens de artefatos de madeira, especialmente formulado para ser aplicado onde se requeira alta resistência térmica e alta resistência a umidade, pelos processos de prensagem a frio, a quente e a alta frequência.

Possuem aspecto líquido amarelo, fluidos, livres de griz, grumos ou materiais estranhos e odor característico. O filme quando seco tem aspecto translúcido, rígido, isento de pontos e com resistência a água.

O Cascorez 2500 possui viscosidade entre 2.500 a 4.000 Cp, teor de sólidos de 49 a 51%, pH entre 1,8 e 3,4. Já o Cascorez 2590 possui viscosidade entre 3.500 a 5.000 Cp sem catalisador e de 2.500 a 3.500 Cp com catalisador, teor de sólidos de 51 a 54%, pH entre 4 e 5.

Foi utilizado na prensagem a frio para ambos os adesivos 5% de catalisador denominado Catalisador CL, de acordo com as recomendações do fabricante.

Para melhor visualização dos adesivos na avaliação de falha na madeira, foi incorporado à mistura anilina (corante), vermelho para o Cascamite PL-2030 e verde em ambos os termoplásticos (Figura 3.1). Para o Cascophen RS-216-M não foi necessário adição de corante.

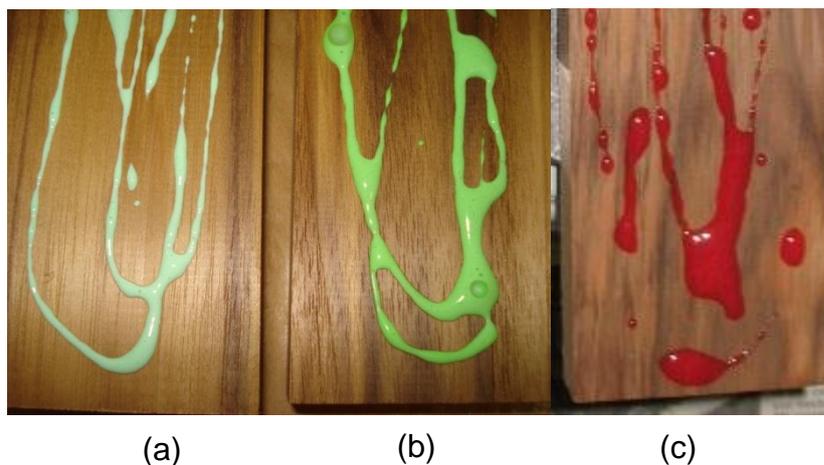


Figura 3.1. Adesivos coloridos com corantes artificiais. (a) Cascorez 2500, (b) Cascorez 2590 e (c) Cascamite PL-2030.

2.3 ENSAIO DE ADESÃO

Após climatizadas, as peças foram reduzidas para confecção das amostras para o ensaio de adesão, conforme a norma da American Society for Testing and Materials – ASTM D-905 (ASTM, 2008).

Para formação das juntas, as dimensões das peças foram reduzidas para aproximadamente 30,0 x 6,9 x 2,4 cm (comprimento x largura x espessura), pesadas e separadas aos pares com massas semelhantes, para posterior preparo da face de colagem devidamente aplainada e confecção das juntas com dimensões finais de 30,0 x 6,5 x 2,0 cm (comprimento x largura x espessura), conforme ilustrado na Figura 3.2.



Figura 3.2. Peças de madeiras de *Tectona grandis* orientadas tangencialmente preparadas para serem unidas por adesivos.

Foram aplicadas cerca de 300 g/m² de adesivo em linha de cola dupla com auxílio de um pincel. Após aproximadamente 15 minutos, as juntas coladas foram prensadas na máquina universal de ensaios de 10 toneladas, por período de 6 horas a uma pressão de 12 kgf/cm² à temperatura de 25° C, de acordo com especificações dos fabricantes dos adesivos.

Na Figura 3.3, encontra-se a sequência adotada na colagem das juntas de madeira de teca para o adesivo Cascamite PL-2030, utilizada para todos os demais.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 3.3. Sequência de aplicação do adesivo na face de colagem (a) e (b), espalhamento do adesivo com pincel (c), amostras com adesivo espalhado (d), montagem das juntas após 5 minutos (e) e prensagem das juntas na máquina universal de ensaio, após 15 minutos (f).

Após a prensagem, foi estabelecido um período de 30 dias, de acordo com recomendações dos fabricantes dos adesivos, para cura do adesivo e posterior confecção dos corpos de prova, de acordo a norma da ASTM D-905 (ASTM, 2008) (Figura 3.4). Em seguida efetuaram-se os ensaios de resistência ao de cisalhamento por compressão na linha de cola, utilizando a máquina universal de ensaios de 10 toneladas.

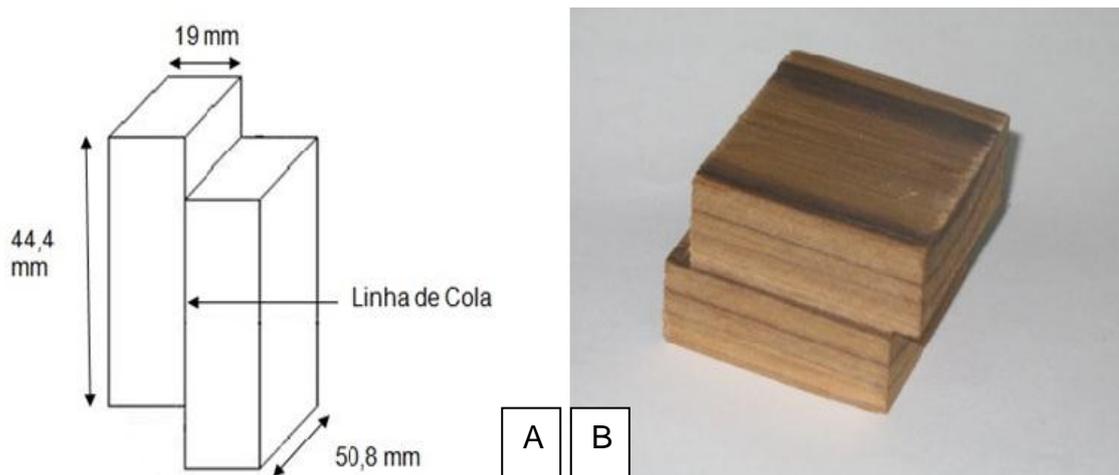


Figura 3.4. Esquema do corpo de prova segundo a norma da ASTM D – 905 (2008) (A) e confeccionado com a madeira de *Tectona grandis* (B).

O desempenho do tratamento foi avaliado tanto pela análise da resistência ao cisalhamento paralelo médio apresentado, bem como pelo percentual de falhas da madeira ocorridas nas juntas (ASTM D-3110, 1994a).

A inspeção de cada corpo de prova foi feita com o auxílio de uma malha quadriculada, com as suas respectivas áreas delimitadas em porcentagem, que atribuiu valores à porcentagem de falhas na madeira.

2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizou-se a transformação $\arcsen \sqrt{\% \text{ falha na madeira}}$ para normalizar a distribuição dos dados e empregou-se o delineamento inteiramente casualizado e comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de significância, quando se apresentaram diferenças estatísticas significativas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Encontram-se na Tabela 3.1, os valores médios de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola e falha na madeira para a madeira de teca proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

Tabela 3.1. Resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola e falha na madeira de *Tectona grandis*

Adesivo	Resistência ao Cisalhamento (kgf/cm ²)	Falha na Madeira (%)
Cascophen RS-216-M	119bc (12,77)*	93a (7,26)
Cascamite PL - 2030	109c (18,06)	90a (14,32)
Cascorez 2500	124ab (16,42)	73b (24,48)
Cascorez 2590	133a (13,91)	85a (13,75)

* - Coeficiente de variação (%). Na mesma coluna as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey; p > 0,05).

Verifica-se na Tabela 3.1, que os adesivos termoplásticos, atingiram valores superiores de resistência ao cisalhamento em relação aos termofixos, em que o Cascorez 2590 obteve maior média (133 kgf/cm²), não diferindo estatisticamente do Cascorez 2500 a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Resultado semelhante foi observado por Vital et al. (2006), que ao estudarem a qualidade de juntas coladas lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *Pinus elliottii*, para três adesivos, dois termoplásticos à base de acetato de polivinila e um à base de resorcinol-formaldeído, verificaram maiores valores de tensão de ruptura na linha de cola para os termoplásticos.

Observa-se ainda que o adesivo termofixo conhecido como Cascamite PL-2030, à base de uréia-formol, obteve menor média para a resistência ao cisalhamento (109 kgf/cm²), valor estatisticamente igual alcançado pelas juntas coladas com o Cascophen RS-216-M.

Ao se comparar a resistência ao cisalhamento da madeira sólida de teca (Capítulo III), a 12% de umidade, cuja tensão máxima foi 125 kgf/cm², aos resultados da Tabela 3.1 para a resistência ao cisalhamento na linha de cola,

verifica-se que o adesivo Cascorez 2500 obteve valor médio semelhante (124 kgf/cm²). Já o adesivo Cascorez 2590 obteve resistência ao cisalhamento na linha de cola superior ao da madeira sólida (133 kgf/cm²). Já os adesivos Cascophen RS-216-M e Cascamite PL – 2030 apresentaram resistência na linha de cola inferior ao da madeira sólida.

Para Frihart e Hunt (2010) o padrão para uma boa colagem é que a haja um rompimento da madeira juntamente com o adesivo, e que a resistência da junta colada seja igual ao da madeira sólida.

Em usos estruturais segundo a ASTM D-2559 (ASTM, 1994b), as resistências das juntas coladas não podem ser inferiores que a resistência ao cisalhamento da madeira sólida, quando a madeira for utilizada em estruturas expostas às condições de serviço.

De acordo com Frihart e Hunt (2010), ao classificarem categorias de madeira de acordo com sua facilidade de colagem, para diversos adesivos, inclusive os à base de uréia-formaldeído e resorcinol-formaldeído, classificaram a madeira de teca na categoria de madeiras de difícil colagem. Os autores ainda alertam que para garantir resultados satisfatórios com a colagem de madeiras desta categoria, deve-se ter cuidado na escolha do adesivo e controle severo das condições de colagem, que em muitos casos há a necessidade de realizar tratamento superficial.

É importante destacar o conhecimento sobre a variabilidade anatômica da madeira que esta sendo colada, bem como a natureza física e química do adesivo, associada com a densidade e porosidade na madeira, que influenciam a formação da ligação adesiva (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000). A presença de substâncias obstrutoras na madeira a ser colada, como tilas e goma-resina diminuem a sua permeabilidade, dificultando também sua adesão (BURGER; RICHTER, 1991).

Tais características são típicas da madeira de teca proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, que por apresentar poros muito poucos numerosos, variando de pequenos a grandes e às vezes obstruídos por óleo – resina e tiloses interferem na permeabilidade que dificulta a colagem, no entanto, a madeira apresentou boa colagem com todos adesivos testados.

Para a falha na madeira, visualiza-se na Tabela 3.1, os adesivos termoplásticos obtiveram menores valores em média, porém a falha na madeira detectada para o Cascorez 2590 foi estatisticamente igual aos termofixos.

Destaque para o adesivo à base de resorcinol – formaldeído com maior valor de falha na madeira (93%), e o adesivo Cascorez 2500, com menor média (73%) diferente estatisticamente dos demais, a 5% de significância pelo teste de Tukey. Contudo, é importante destacar que os valores de falha na madeira atendem à norma ASTM D-3110 (ASTM, 1994), que exige um valor médio superior a 60%. Segundo o “Forest Products Laboratory” – FPL (2010) os valores médios satisfatórios de falha na madeira, para cisalhamento na linha de cola variam entre 75 e 85%.

Vital et al. (2006), observaram para as madeiras de pinus e eucalipto menor valor de falha na madeira para o adesivo resorcinol em relação aos de acetato de polivinila, que contraria os resultados obtidos para a madeira de teca com o adesivo Cascorez 2500. Os autores explicam que este fato é decorrente do tipo de filme formado pelo adesivo, pois os adesivos à base de acetato de polivinila formam um filme flexível, que o torna mais suscetível à maior deformação, já o adesivo resorcinólico forma um filme rígido e quebradiço, menos resistente às tensões aplicadas.

4. CONCLUSÕES

- Os adesivos termoplásticos à base de poliacetato de vinila apresentaram melhor desempenho quanto à resistência ao cisalhamento da linha de cola em relação aos termofixos à base de resorcinol – formaldeído e uréia – formaldeído.
- Os valores de falha na madeira, para todos adesivos testados estão de acordo com os padrões estabelecidos pela norma da Associação Americana de Normas Técnicas (American Standarts Technical Materials), para usos estruturais.
- A resistência ao cisalhamento na linha de cola nos adesivos termofixos foram inferiores ao observado para a madeira sólida de teca. Já o adesivo termoplástico Cascorez 2590 apresentou valor médio de resistência ao cisalhamento na linha de cola superior ao da madeira sólida.
- Contrariando informações da literatura, a madeira de teca apresentou boas propriedades de adesão, tanto no que diz respeito a resistência, quanto para falha na madeira, para todos os dois grupos de adesivos utilizados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. **Revista Scientia Florestalis**. Piracicaba, SP, v. 38, n. 87, p. 509 – 516, 2010.

ALBUQUERQUE, C. E. C; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Revista Floresta e Ambiente**. v. 7, n.1, p. 158 – 166, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard specification for adhesives used in nonstructural glued lumber products. ASTM D-3110. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, v.15.06, p.184 – 192, 1994a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard specification for adhesives for structural laminated wood products for use under exterior (wet use) exposure conditions. ASTM D-2559. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, v.15.06, p.154 – 158, 1994b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D 905. Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. **Annual Book of A.S.T.M. Standards**. 5p, 2008.

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

COSTA TIENNE, D. L. **Qualidade da adesão de juntas coladas expostas a condições de serviço externo e interno**. 2006. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – LPF. **Wood handbook – Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. ed. 100, 508 p. 2010.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. **Adhesives with wood materials – bond formation and performance**. Wood Handbook – wood as an engineering material. ed. 100, p. 228 – 251, 2010.

LOBÃO M. S.; GOMES, A. Qualidade da adesão de madeira de eucalipto em corpos-de-prova colados em dois diferentes planos e densidades. Nota técnica. **Revista Cerne**, Lavras – MG, v. 12, n. 2, p. 194 – 200, 2006.

MACIEL, S. M. et al. **Avaliação da qualidade da linha de cola da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla***. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. 12. Lavras, MG. 2010.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: V. N. Reinhold, 454 p. 1992.

PASSOS, O. S. et al. **Estudos preliminares de juntas de madeira-madeira coladas com material polimérico: superfície de fratura**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17. Foz do Iguaçu, PR. 2006.

PLASTER, O. B. et al. Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 251 – 258, 2008.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer – Verlag, 245p, 1984.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 30, n. 4, p. 637 – 644, 2006.

CAPÍTULO IV

**RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.)
PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS A ORGANISMOS
XILÓFAGOS EM ENSAIO DE LABORATÓRIO**

RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS A ORGANISMOS XILÓFAGOS EM ENSAIO DE LABORATÓRIO

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar a resistência natural da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) a organismos xilófagos (fungos e cupins) em condições de laboratório. As árvores desse estudo possuíam quinze anos de idade, e foram provenientes de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., localizada no município de Belo Oriente, estado de Minas Gerais – Brasil. Para a determinação da resistência natural da madeira de teca a agentes xilófagos foram realizados ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório com os fungos *Postia placenta* (Fr.) M. Larsen et Lombard, *Neolentinus lepideus* (Fr.) Redhead e Ginns, *Polyporus fumosus* (Pers. Ex. Fr.) e o *Fomes connatus* (Weinm) Gillet, e de preferência alimentar com cupins subterrâneos *Nasutitermes* sp. Corpos de prova foram retirados em quatro posições do tronco (cerne próximo da medula, cerne intermediário, cerne externo e alburno) na altura do DAP (1,30 m) e submetidos à ação dos fungos por treze semanas e cupins por 45 dias. Constatou-se que o cerne da madeira de teca é resistente à ação dos agentes xilófagos avaliados, comprovação que foi validada por resultados obtidos na literatura para a mesma espécie de outros locais de origem.

Palavras-chave: *Tectona grandis*. resistência natural. xilófagos.

Abstract

The objective of that work was evaluated the natural resistance of teak wood (*Tectona grandis* L.f.) to xylophages organisms (fungi and termites) in laboratory conditions. Were used trees with fifteen years old, from a plantation of the Forest enterprise Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., located in Belo Oriente, city at Minas Gerais State – Brazil. To determine the natural resistance of teak wood decay in the laboratory the fungi used were *Postia placenta* (Fr.) M. Larsen et Lombard, *Neolentinus lepideus* (Fr.) Redhead and Ginns, *Polyporus fumosus* (Pers. Ex Fr) and *Fomes connatus* (Weinm) Gillet, and the feeding preference test with subterranean termites *Nasutitermes* sp. Samples were taken from four positions in the stem (heartwood near the pith, heartwood intermediate, outer heartwood and sapwood) at DBH (1,30 m) and submitted to the action of fungi for thirteen weeks and termites for 45 days. It was found that the heart of teak wood is resistant to wood decay agents evaluated, evidence that has been validated by results obtained in the literature for the same species from other places of origin.

Keywords: *Tectona grandis*. natural resistance. xylophages.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material bastante versátil, seja para a confecção de móveis finos, construção de pontes, casas, embarcações, ou mesmo na agricultura como estacas e moirões em cercas, postes de redes elétricas, entre outros tantos usos na qual ela é superior a outros materiais, como o concreto e aço. Porém é um material de origem orgânica, sujeito a deterioração. Por ser um material orgânico, a madeira está sujeita à ação de organismos biodeterioradores, principalmente fungos e insetos, e sua resistência ou durabilidade, ou seja, a capacidade de resistir ao ataque de organismos xilófagos varia entre as espécies.

No Brasil, um país de clima tropical, onde a média de temperatura é de 25°C e pluviosidade anual podendo chegar a 3.000 mm em algumas regiões, e com uma grande biodiversidade de flora e fauna, os processos naturais de deterioração da madeira são ainda mais acelerados.

Nenhuma espécie de madeira, nem mesmo as de reconhecida durabilidade natural, é capaz de resistir, indefinidamente, às intempéries e variações das condições ambientais (SILVA, 2005). De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI (2004), a vida útil da madeira maciça ou reconstituída varia dependendo da espécie, da quantidade de alburno presente, do seu uso e das condições ambientais às quais está exposta.

A degradação da madeira por insetos ou microrganismos é uma etapa fundamental na reciclagem de nutrientes dentro de um ecossistema, colaborando para o equilíbrio entre a diversidade de formas vivas existentes na natureza (JANKOWSKY, 1990). No entanto os agentes biológicos são os causadores de maiores prejuízos à utilização da madeira (SGAI, 2000).

Em se tratando exclusivamente da degradação biológica, a madeira é degradada porque os agentes biológicos, denominados de xilófagos, reconhecem os polímeros naturais da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina) como fonte de alimento, nutrindo-se e obtendo a energia necessária para a sua sobrevivência. Sob condições ambientais favoráveis de umidade,

temperatura, aeração, haverá favorecimento do surgimento de um ou mais agentes xilófagos.

Os fungos e térmitas são exemplos de xilófagos mais comuns, pela facilidade do surgimento desses agentes na madeira quando as condições são favoráveis. Os fungos podem decompor totalmente a madeira ou apenas causar manchas, são classificados como apodrecedores, emboloradores e manchadores. Já os cupins são considerados os principais responsáveis em causar danos à madeira no mundo e conforme seus hábitos de vida são classificados como subterrâneos, cupins de madeira seca e cupins de madeira úmida (ROCHA, 2001).

A madeira de teca situa-se dentre as prediletas para o reflorestamento, encontrando cultivos distribuídos pelo mundo, inclusive no Brasil. Seu cerne não é atacado por térmitas, coleópteros ou outros insetos. É imune à ação dos fungos apodrecedores de madeira, podendo ser enterrada, exposta ao tempo ou à água do mar, sem sofrer danos.

Esta madeira tem forte potencial exportador, cuja procura no mercado internacional é para a confecção de móveis finos, inclusive para jardim, esquadrias, pisos, bancadas para laboratório, moldes industriais, dornas e tanques para produtos químicos, na construção naval e decoração interior e exterior, bem como painéis de lâminas faqueadas e lambris.

O conhecimento sobre a durabilidade natural e restrições de uso da madeira de teca oriunda de plantios brasileiros é importante, visto que fornece informações básicas sobre a utilização dos seus produtos sob diferentes condições de exposição a agentes biodeterioradores, como fungos e térmitas, responsáveis pelos maiores danos econômicos à madeira.

Este capítulo tem como objetivo avaliar a resistência natural da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) com 15 anos de idade proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais a organismos xilófagos (fungos e térmitas) em condições de laboratório.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL

O material estudado foi procedente da espécie *Tectona grandis* L. f. com idade de aproximadamente 15 anos, proveniente de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., no município de Belo Oriente no Vale do Rio Doce – Minas Gerais, que integra o Colar Metropolitano do Vale do Aço, localizada à 19° 15' 00" Sul 42° 22' 30" Oeste.

Foram obtidas, de povoamentos não desbastados, cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) tomado a 1,30 m do solo, de 28,0 cm, e cada árvore deram origem a duas toras de aproximadamente 3,0 m de comprimento. Posteriormente todas as toras foram desdobradas, transformadas em tábuas com aproximadamente 3,0 cm de espessura, 3,0 m de comprimento e largura variável, além de um pranchão central.

Após a secagem ao ar livre, do pranchão central da primeira tora, foram retiradas amostras em quatro posições; 1 – cerne próximo da medula, 2 – cerne intermediário, 3 – cerne externo e 4 – alburno.

2.2. RESISTÊNCIA NATURAL

Para a determinação da resistência natural da madeira de teca a agentes xilófagos foram realizados ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório e de preferência alimentar a cupins.

2.2.1. Ensaio de apodrecimento em laboratório

Para execução deste ensaio foram seguidas as especificações da American Society for Testing and Materials – ASTM D-1413 (2007). Foram utilizados corpos de prova com dimensões de 2,0 x 2,0 x 2,0 cm. Os corpos de prova utilizados para avaliação da perda de massa operacional foram retirados em posições adjacentes àqueles empregados no ensaio.

Foram utilizadas culturas puras de quatro fungos, sendo dois de podridão parda; *Postia placenta* (Fr.) M. Larsen et Lombard = (*Poria monticolor* Murr, Madison LPF 698) e *Neolentinus lepideus* (Fr.) Redhead e Ginns (Forintek Canada Corporation 44 J), e um de podridão branca; *Polyporus fumosus* (Pers. Ex. Fr. Forintek Canada Corporation 496A).

Frascos de vidro de 500 mL de capacidade, preenchidos com 350 g de solo peneirado em peneira de 0,4 x 0,4mm seco ao ar, com pH de 6,63 e capacidade de retenção de água de 33,48%. Após o preenchimento, foram adicionados 110 mL de água destilada para umedecimento do solo, adicionados dois alimentadores de madeira de *Pinus* sp., e esterilizados a $121 \pm 2^\circ\text{C}$, por 1 hora.

Após a esterilização dos frascos e do seu resfriamento, fragmentos obtidos de culturas puras dos fungos, citados, foram inoculados sobre os alimentadores. Após o desenvolvimento e colonização do solo pelo fungo (ASTM D-2017, 2005), foram adicionados os corpos de prova, que tiveram suas faces lixadas para eliminar defeitos e secos em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, por 48 horas e posteriormente pesados. Foram empregadas oito repetições para cada posição, totalizando 24 amostras por fungo.

Os frascos foram mantidos por 13 semanas em sala climatizada ($27 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa).

Na Tabela 4.1, encontram-se transcritas as classes de resistência para madeira, utilizadas para classificar a resistência da madeira de teca em cada posição do tronco.

Tabela 4.1. Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos (ASTM D-2017, 2005).

Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)	Classes de Resistência
0 - 10	90 - 100	Altamente resistente
11 - 24	76 - 89	Resistente
25 - 44	56 - 75	Resistência moderada
≥ 45	≤ 55	Não – resistente

2.2.2. Ensaio de preferência alimentar

Para execução deste ensaio foram seguidas as especificações ASTM D-3345 (2008). Foram utilizados corpos de prova isentos de defeitos com dimensões de 2,54 x 0,64 x 10,16 cm nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente e amostras de *Pinus* sp. utilizadas como padrão de comparação. As amostras de madeira foram lixadas para eliminar defeitos, secadas a temperatura de 103 ± 20 °C, até atingirem massas constantes, e pesadas em uma balança de 0,01g de precisão e os valores foram utilizados no cálculo da perda de massa da madeira. Foram utilizadas dez repetições para cada uma das posições anteriormente citada.

No ensaio de preferência alimentar, foi utilizado o cupim de solo *Nasutitermes* sp.. Para a montagem do ensaio os corpos de prova foram dispostos em uma caixa de 1000 L, que continha uma camada de aproximadamente 15 cm de areia úmida. As amostras foram distribuídas segundo um delineamento em blocos casualizados, contendo dez repetições, quatro tratamentos (posições), totalizando 40 amostras, além de 10 amostras de *Pinus* sp.

As amostras obtidas em cada posição (Figura 4.1) foram dispostas lado a lado, distribuídas e tiveram metade do seu comprimento fixada na areia. Paralelo ao ensaio foi mantido corpos de prova para avaliação da perda de massa operacional, sem a presença de cupim, que foram utilizados como fator de correção.

A colônia de cupins (Figura 4.2B) utilizada no experimento foi coletada em Santa Angélica, Alegre – ES, e disposta em uma grelha de 50 x 40 x 5 cm, apoiada em dois tijolos de quatro furos, postos sobre a camada de areia contida na caixa. As amostras ficaram expostas à ação dos cupins durante 45 dias, em um galpão, sob condições de temperatura de 27 ± 2 °C e umidade relativa de $62 \pm 5\%$. Após o ensaio, as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 103 ± 2 °C e pesadas, para se avaliar a porcentagem de perda de massa.

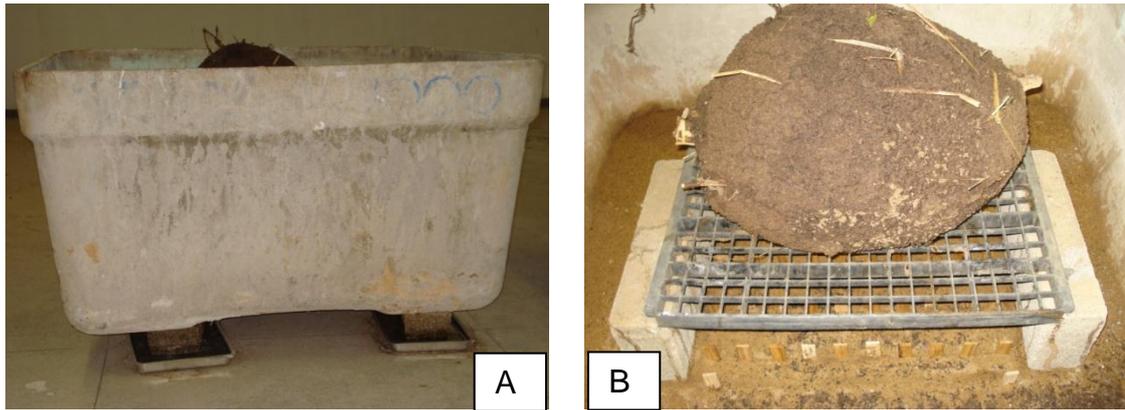


Figura 4.1. (A) Caixa utilizada no ensaio de preferência alimentar apoiada sobre tijolos de concreto em bandejas de alumínio; (B) Colônia de cupins *Nasutitermes* sp. no ensaio de preferência alimentar.

Avaliou-se a resistência natural da madeira de teca em função da perda de massa e do desgaste provocado pelos cupins aos corpos de prova (Tabela 4.2). A perda de massa foi corrigida por meio das amostras de perda de massa operacional.

Tabela 4.2. Avaliação do desgaste da madeira (ASTM D – 3345, 2008)

Desgaste	Notas
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetrações	7
Ataque intensivo	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para comparar a resistência da madeira de teca aos cupins e fungos, fez-se uma avaliação estatística, seguindo-se o delineamento inteiramente casualizado e em bloco casualizado, respectivamente, com avaliação de cada posição.

Os valores em porcentagem de perda de massa foram transformados em $\arcsen \sqrt{x/100}$ e os do desgaste (nota) em $\sqrt{x+0,5}$ para permitir a homogeneidade das variâncias, de acordo com Stell e Torrie (1980). Na análise e avaliação dos ensaios, o teste de Tukey a 5% de significância foi aplicado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO

Na Tabela 4.3, encontram-se os valores médios para a perda de massa em diferentes posições da madeira de teca (*Tectona grandis*), proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

Tabela 4.3. Perda de massa (%) na madeira de *Tectona grandis*

Fungo	Posição radial			
	Cerne próximo da medula	Cerne intermediário	Cerne externo	Alburno
	Perda de Massa (%)			
<i>Postia placenta</i>	7,51Ba**	2,54Ca	1,53Cab	23,18Aa
	(35,59)*	(59,60)	(34,41)	(27,77)
<i>Neolentinus lepideus</i>	3,38Bb	0,93Bb	1,00Bbc	22,31Aa
	(46,59)	(28,48)	(36,84)	(34,68)
<i>Polyporus fumosus</i>	9,03Ba	3,25Ca	2,11Ca	28,65Aa
	(42,30)	(79,64)	(47,68)	(18,63)

* - Coeficiente de variação (%).

** - As médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na horizontal, ou por uma mesma letra minúscula na vertical, não diferem estatisticamente entre si (Tukey; $p > 0,05$).

Observa-se que a posição radial referente ao alburno foi mais atacada pelos fungos, diferindo estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey. Segundo a Revista da madeira (REMADE, 2004), a durabilidade do cerne da teca, deve-se a tectoquinona, um preservativo natural contido nas células da madeira, ausente no alburno (Tabela 4.3).

Comparado com as classes de resistência da madeira a fungos xilófagos na Tabela 4.1, a madeira de teca plantada no Vale do Rio Doce, Minas Gerais é classificada nas posições radiais cerne próximo da medula, cerne intermediário e cerne externo como altamente resistente para todos os fungos analisados. Já para a madeira de alburno a classificação é variável, como resistente para os fungos *P. placenta* e *N. lepideus*, com resistência moderada ao fungo *P. fumosus*. Este comportamento foi observado por Paes (2002), que ao estudar resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* aos fungos *P. placenta*, *N. lepideus* e *P. fumosus*, em condições de laboratório,

verificou que estes fungos foram mais agressivos na posição mais externa da madeira, madeira composta por alburno.

Paes et al. (2007) verificaram que para os fungos *P. fumosus* e *P. placenta* a madeira de teca é muito resistente, quando se analisa a madeira nas posições radiais cerne próximo da medula, cerne intermediário e cerne externo, mas com resistência moderada na posição mais externa, composta exclusivamente de alburno.

De acordo com publicação do Wood HandBook do Forest Products Laboratory (FPL, 2010), o alburno de praticamente todas as espécies tem baixa resistência à degradação e, geralmente, tem uma vida útil de curta duração sob condições que favorecem a deterioração. A resistência à deterioração natural do cerne é principalmente afetada por diferenças entre os extrativos da madeira, do tipo de fungo e das condições de exposição da madeira.

Bhat et al. (2005), ao verificarem a durabilidade da madeira de teca contra fungos de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum* e *Polyporus palustris*) e de podridão branca (*Pycnoporus sanguineus*, *Trametes hirsuta* e *T. versicolor*) de árvores com 35 anos de idade, provenientes de diferentes plantações em Nilambur localizada em Kerala, Índia, verificaram que a resistência natural da madeira de teca depende principalmente da espécie de fungo e posição da madeira no tronco (medula, cerne, alburno) e da interação entre esses fatores.

Ao comparar, na Tabela 4.3, com os valores médios de perda de massa em cada posição por fungo, observa-se que o *P. fumosus* e *P. placenta* foram os que mais causaram danos à madeira de teca em todas as posições radiais.

De modo geral, a madeira de teca nas posições radiais cerne próximo da medula, cerne intermediário e cerne externo possui alta resistência aos fungos avaliados, este resultado é importante principalmente para a madeira do cerne periférico, que é mais valorizada por apresentar propriedades físicas e mecânicas superiores. Esses resultados podem ser comprovados pelo FPL (2010), que classifica o cerne da madeira de teca como altamente resistente a fungos. Segundo Findlay (1985) o cerne periférico é a mais resistente a organismos xilófagos. Por outro lado, a posição mais interna próxima à medula

é a região com madeira de menor resistência ao ataque de organismos xilófagos, conforme demonstram os resultados da Tabela 4.3. Essa menor durabilidade pode ser explicada pela perda de eficiência dos extrativos ao longo do tempo, formando madeira mais susceptível ao ataque de organismos xilófagos.

3.2. ENSAIO DE PREFERÊNCIA ALIMENTAR

Na Tabela 4.4, encontram-se os valores médios para a perda de massa e desgaste no ensaio de preferência alimentar provocados pelos cupins *Nasutitermes* sp. na madeira de teca, proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

Tabela 4.4. Perda de massa e desgaste causado pelo cupim *Nasutitermes* sp.

	Posição radial			
	Cerne próximo da medula	Cerne intermediário	Cerne externo	Alburno
Perda de Massa (%)	1,28b** (41,33)*	0,55b (39,65)	0,43b (82,13)	26,73a (43,66)
Desgaste (nota)	9,76a (2,12)	9,76a (2,87)	9,56a (4,16)	0,78b (192,05)

* - Coeficiente de variação (%).

** - As médias seguidas por uma mesma letra na horizontal, não diferem estatisticamente entre si ao nível (Tukey; $p > 0,05$).

Paes et al. (2007) ao analisarem a resistência da madeira de teca a cupins subterrâneos em diferentes posições radiais no tronco, a classificaram como resistente, mas o alburno, apresentou maior perda de massa (12,87%) em relação às demais posições avaliadas.

Rudmam et al. (1967) verificaram que a resistência do cerne intermediário e externo a cupins subterrâneos *Coptotermes lacteus* (Frogg) variou conforme a idade ao estudarem a qualidade da madeira de teca, proveniente de plantações na Nova Guiné, Indonésia e Burma, em árvores com 13, 14 e 168 anos de idade, respectivamente. Para árvores jovens, 13 e 14 anos, a perda de massa no cerne intermediário foi acima de 60% e no cerne exterior não passou de 20%. Para árvores adultas, com idade igual a 168 anos, a perda de massa no cerne intermediário foi igual a 15%, e no cerne exterior

4%. Relativo ao desgaste provocado pelos cupins no alburno verifica-se nota igual a 0,78 (ASTM D-2017, 2008). As demais posições receberam notas altas, com destaque para o cerne externo que além de receber nota alta (9,56) obteve em média menor perda de massa (0,43%).

4. CONCLUSÕES

- A madeira de teca, proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, apresentou alta resistência aos fungos *Postia placenta*, *Neolentinus lepideus*, *Polyporus fumosus* nas posições radiais cerne próximo da medula, cerne intermediário e cerne externo. Com destaque para o cerne externo que obteve menores perdas de massa.
- O alburno da madeira de teca não apresentou resistência ao cupim subterrâneo *Nasutitermes* sp..
- O cerne da madeira de teca foi caracterizado como resistente ao cupim subterrâneo *Nasutitermes* sp..

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Preservação de madeira. Fórum Nacional das Atividades de Base Florestal. **Artigo técnico**, n. 17, 4p, 2004. Disponível em: <www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman...>. Acesso em: 16 dez. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1413: **standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures**. Philadelphia, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-3345: **standard test method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites**. Philadelphia, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-2017: **standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods**. Philadelphia, 2005.

BHAT K. M. et al. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. Springer-Verlag. **Trees – Struct Func.**, v. 19, p. 654 – 660, 2005. Disponível em: <www.springerlink.com/index/T2473V35344X4111.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2010.

FINDLAY, W. P. K. **Preservation of timber in the tropics**. Dordrecht: M. Nijhoff: W. Junk, 269 p. 1985. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=WH1lio8DC-0C&pg=PA118&lpg=PA118&dq=findlay...opics&f=false>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – LPF. **Wood handbook – Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. ed. 100, 508 p. 2010.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de preservação de madeiras**. Documentos Florestais. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. n. 11, p. 1 – 12, 1990.

PAES, J. B. **Efeitos da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal em suas propriedades preservativas**. 143f. 1997. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1997.

PAES, J. B. Resistência natural da madeira DE *Corymbia maculata* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 26, n. 6, p. 761 – 767, 2002.

PAES, J. B.; MELO, R. R. LIMA, C. R. Resistência natural de madeiras a fungos xilófago em condições de laboratório. **Revista de Ciências Agrárias**. Belém, PA, n. 47, p. 199 – 210, 2007.

REVISTA DA MADEIRA - REMADE. Madeira – Teca. Qualidade e aspecto rústico agradam o mercado. **Revista da madeira**, n. 86, 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos_download.php?num=2676&categoria=Esp%E9cies&subcategoria=Teca&title=Teca%20qualidade%20e%20aspecto%20r%FAsstico%20agradam%20mercado>. Acesso em: 11 nov. 2010.

ROCHA, M. P. **Biodegradação e preservação da madeira**. Série didática. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná – FUPEF. Curitiba, PR. ed. 5, n.1, 94p, 2001.

RUDMAN, P.; DA COSTA, E. W. B.; GAY, F. J. Wood quality in plus trees of teak (*Tectona grandis* L.F.) – as assessment of decay and termite resistance. **Revista Silvae Genetica**. v. 16, n. 3, p. 102 – 105, 1967.

SGAI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras**. 2000. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP. 2000. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000212330>>. Acesso em: 11 nov. 2010.

SILVA, J. C. **Deterioração, durabilidade madeiras e preservação**. Departamento de Engenharia Floresta: UFV. 146p. 2005.

CAPÍTULO V

**SORÇÃO DE UMIDADE NA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.)
PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS**

SORÇÃO DE UMIDADE NA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis* L.f.) PROVENIENTE DO VALE DO RIO DOCE, MINAS GERAIS

Resumo

O conhecimento do comportamento da madeira e das variações decorrentes dos processos de perda (desorção) e ganho (adsorção) de umidade é essencial para a sua utilização industrial, e promove a adequação de programas de secagem à madeira. Foram determinadas curvas de sorção da madeira de teca (*Tectona grandis* L.F.) de árvores com quinze anos de idade. As dimensões dos corpos de prova foram de 3,0 x 0,5 x 8,0 cm, nas direções tangencial, radial e longitudinal, respectivamente. Realizou-se a determinação de isotermas de sorção em três fases, primeira desorção, em seguida adsorção e por última segunda desorção, com variação da umidade relativa do ar de 30, 40, 50, 60, 70 e 80% e temperatura de 25°C, com uso de câmara climática com controle automático de temperatura e umidade relativa. A madeira de teca obteve ampla variação do teor de equilíbrio higroscópico em função da umidade relativa. O comportamento foi semelhante e normal ao observado para a maioria das espécies de madeira sob condições semelhantes. O coeficiente de histerese para a madeira de teca foi maior que o valor médio determinado como padrão por muitos autores. O ajuste da equação de regressão de terceiro grau para estimação do teor de equilíbrio, em função da umidade relativa, foi satisfatório para a madeira de teca, sendo seu uso indicado para gerenciar programas de secagem.

Palavras-chave: *Tectona grandis*. sorção de umidade. higroscopia.

Abstract

The behavior of wood and changes resulting from the loss processes (desorption) and gain (adsorption) of moisture is essential to the industrial use, of the wood and promotes adjusts in the drying wood programs. In this chapter sorption curves were determined to the teak wood (*Tectona grandis* L.F.) coming of fifteen years old. The dimensions of the samples were 3,0 x 0,5 x 8,0 cm (tangential x radial x longitudinal). The sorption isotherms were determined in three phases, being the first desorption, adsorption and second desorption, with a range of relative humidity of 30, 40, 50, 60, 70 and 80% and temperature of 25°C using a climate chamber with automatic control of temperature and air humidity. It was observed a wide variation in the equilibrium moisture content as a function of relative humidity. The Behavior similar to observed for normal and most species of wood under similar conditions. The hysteresis coefficient for teak wood was higher when compared to the others values found in the literature. The fit of the regression equation of third degree to estimate the moisture content equilibrium as a function of relative humidity was satisfactory to the teak wood and can be indicated in manage the drying programs.

Keywords: *Tectona grandis*. moisture sorption. hygroscopic.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento da madeira e das variações decorrentes dos processos de perda e ganho de umidade é essencial para a sua utilização industrial, assim como na construção civil e na produção de móveis. Apesar da umidade não ser uma característica intrínseca da madeira, seu estudo é indispensável por se tratar de uma propriedade que afeta o seu comportamento, nas fases de processamento, secagem e preservação (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A madeira é um material poroso e altamente higroscópico que está sempre condicionado a absorver ou ceder água para o meio ambiente. Quando uma peça de madeira perde água, diminuindo sua umidade, além da perda de massa, ela sofre também uma diminuição em suas dimensões e, conseqüentemente em seu volume (REZENDE, 1997).

A umidade da madeira influi ainda no seu tratamento com fluídos, resistência ao ataque de fungos xilófagos, colagem, fabricação de compensados, aglomerados e processamento mecânico. A umidade da madeira tende a atingir um teor em que ocorre o equilíbrio dinâmico com a umidade relativa da atmosfera. Além disso, há influências da temperatura, da espécie e extrativos, com variação entre alburno e cerne em uma mesma espécie.

De acordo com Mady (2010) a madeira, na dependência da umidade relativa, da temperatura do ambiente e do seu próprio teor de umidade, pode retirar ou ceder água ao meio. A higroscopicidade da madeira é basicamente ocasionada pelos grupos hidroxílicos (OH) que nela ocorrem. Eles atraem e retêm moléculas de água por meio de pontes de hidrogênio.

Segundo Galvão e Jankowsky (1985) as isotermas de sorção, curvas de desorção e adsorção, variam de espécie para espécie, e essas diferenças são atribuídas às diferentes proporções, em que os constituintes (celulose, polioses e lignina) entram para formar a madeira das diferentes espécies e as possíveis inter-relações entre eles, nas paredes celulares.

O termo adsorção refere-se à capacidade de assimilação espontânea de água pela madeira, decorrente de um aumento de vapor de água na

atmosfera, até que se atinja um equilíbrio de umidade entre a madeira e o meio ambiente. Este fenômeno depende da umidade relativa do ar e da temperatura do ambiente. Já o termo desorção é utilizado quando este fenômeno ocorre de forma inversa, ou seja, a madeira perde umidade para se equilibrar com o meio ambiente (MORESCHI, 2010). A relação entre o teor de equilíbrio higroscópico na adsorção e desorção é definido como coeficiente de histerese. Segundo Gonzaga (2006) o processo de histerese ocorre na madeira por meio da desorção (secagem) e adsorção de água, conforme variação da umidade relativa do ar.

O conhecimento sobre estes fenômenos é fundamental para a adequação do uso da madeira, promovendo a prevenção de problemas de estabilidade dimensional em programas de secagem. Para Oliveira (1997), que caracterizou a madeira de eucalipto para a construção civil, o conhecimento das propriedades higroscópicas é fundamental para a utilização bem sucedida de qualquer madeira.

A madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) possui excelente qualidade, apreciada em todo mundo por apresentar características mecânicas, físicas e químicas desejáveis para diversos usos. Sua secagem é considerada lenta com ocorrência de pouquíssimos defeitos (FLYNN JUNIOR; HOLDER, 2001).

Estudos que indicam o comportamento higroscópico de qualquer madeira, por meio do estudo da variação do teor de equilíbrio higroscópico da madeira em função da temperatura e umidade relativa do ar, auxiliam na elaboração e no controle de programas de secagem.

Este capítulo tem como objetivo confeccionar curvas de sorção da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.) com 15 anos de idade proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DO MATERIAL

O material estudado é procedente da espécie *Tectona grandis* L. f. com idade de aproximadamente 15 anos, proveniente de uma plantação da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., no município de Belo Oriente no Vale do Rio Doce, Minas Gerais, que integra o Colar Metropolitano do Vale do Aço, localizada à 19° 13' 12" Sul 42° 29' 02" Oeste.

Foram obtidas, de povoamentos não desbastados, cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) tomado a 1,30 m do solo, de 28,0 cm, e cada árvore deram origem a duas toras de aproximadamente 3,0 m de comprimento. Posteriormente todas as toras foram desdobradas, transformadas em tábuas com aproximadamente 3,0 cm de espessura, 3,0 m de comprimento e largura variável, além de um pranchão central.

2.2. ENSAIO DE SORÇÃO DE UMIDADE

Foram determinadas três curvas de sorção, sendo a primeira curva de desorção, a segunda curva de adsorção e a terceira curva para a segunda desorção. O teor de umidade foi determinado com base no método brasileiro MB26 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1940).

Ainda com a madeira saturada foram retirados do pranchão central da primeira tora dez corpos-de-prova com as dimensões de 3,0 x 0,5 x 8,0 cm (tangencial x radial x longitudinal).

As amostras saturadas foram condicionadas em câmara climática. O ensaio de sorção foi iniciado pela fase de desorção, com umidade relativa do ar de 80% e temperatura constante de 25°C. À medida que amostras de controle atingiam a massa constante, todos os corpos de prova foram então pesados e a umidade relativa da câmara reduzida em 10%. Este procedimento ocorreu até que as amostras se equilibrassem na umidade relativa do ar de 30%, quando se estabeleceu o término da primeira desorção.

Ao término da pesagem dos corpos de prova em equilíbrio na umidade relativa de 30%, as amostras foram colocadas no dessecador contendo sílica para reduzir ainda mais a umidade da madeira para o início da fase de adsorção.

A fase de adsorção foi iniciada pelo aumento gradativo de 10% na umidade relativa do ar, mantendo-se o mesmo procedimento adotado na primeira desorção até que as amostras atingissem o teor de equilíbrio, com a umidade relativa do ar de 80% e posterior monitoramento desta fase com a pesagem dos corpos de prova.

Na terceira curva de sorção (segunda desorção), adotou-se o mesmo procedimento da primeira curva. Os corpos de prova foram postos em estufa com ventilação forçada, a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para obtenção da massa seca e posterior determinação dos teores de umidade da madeira nas diferentes condições de umidade relativa do ar.

Calculado os teores de equilíbrio higroscópico em cada condição de umidade relativa do ar para as três fases de sorção, foram elaboradas três curvas, compostas pela primeira desorção, adsorção e segunda desorção. O coeficiente de histerese foi obtido pela relação entre a adsorção e segunda desorção. Com uso de modelo de regressão (Equação 1) foram ajustadas equações de regressão para a madeira de teca em cada fase da sorção.

$$TU = \beta_0 UR^{\beta_1} \quad (1)$$

em que:

TU = Teor de equilíbrio higroscópico da madeira;

UR = Umidade relativa do ar;

β = Coeficientes a serem estimados.

Para melhor visualização da variação do teor de equilíbrio higroscópico em função da umidade relativa do ar da madeira de teca, foram plotados em gráfico seus respectivos valores médios para cada fase da sorção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico e coeficiente de histerese da madeira de teca (*Tectona grandis*) proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Umidade de equilíbrio (%) e coeficiente de histerese (A/D) para a madeira de *Tectona grandis* submetida a diferentes condições de umidade relativa do ar durante ensaio de sorção a 25°C

Umidade relativa (%)	Teor de umidade no equilíbrio (%)			Coeficiente de histerese A/D
	Primeira Desorção	Adsorção (A)	Segunda Desorção (D)	
80	14,9a (5,36)*	13,2b (8,18)	13,2b (8,18)	1,00
70	12,9a (5,33)	10,5c (5,01)	11,4b (5,58)	0,92
60	10,8a (18,36)	8,9b (4,64)	9,1b (3,25)	0,98
50	8,5a (8,82)	7,5b (4,45)	7,2c (3,04)	1,04
40	6,9a (3,94)	6,5b (3,89)	5,9c (3,67)	1,10
30	5,6a ¹ (3,89)	4,3c (4,78)	4,8b (3,30)	0,90

¹ - As médias seguidas pela mesma letra na horizontal, não diferem estatisticamente entre si (Tukey; $p > 0,05$).

* - Coeficiente de variação (%).

Há uma grande variação do teor de umidade de equilíbrio higroscópico da madeira de teca, em função da umidade relativa do ar sob temperatura constante de 25°C, em todas as fases de sorção (Tabela 5.1). Com a primeira desorção diferenciando-se estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey, da fase de adsorção e segunda desorção. Comportamento semelhante foi observado por Oliveira et al. (1990) para a madeira de pindaíba (*Xilopia sericea*). Os autores verificaram no ensaio de sorção uma ampla variação no teor de umidade de equilíbrio com a mudança da umidade relativa do ar sob temperatura constante de 20°C.

Segundo Mady (2010) o fator mais importante que afeta o teor de umidade de equilíbrio da madeira é a umidade relativa ou a pressão relativa de vapor do ambiente.

Glass e Zelinka (2010) ao determinarem o teor de equilíbrio da madeira de Sitka spruce (*Picea abies*), sob várias temperaturas e umidades relativas do ar, com uso de ajuste de equações, determinaram que o comportamento observado, é padrão para a maioria das madeiras de qualquer espécie.

Para efeito comparativo, de acordo com os autores citados anteriormente, a uma temperatura de 26,7°C, nas umidades relativas do ar de 30, 40, 50, 60, 70 e 80%, o teor de equilíbrio higroscópico para qualquer madeira estaria próximo de 6, 8, 9, 11, 13 e 16%. Ao determinar o valor médio do teor de equilíbrio higroscópico da madeira de teca em cada uma dessas umidades relativas, constou-se semelhança entre os resultados encontrados por Glass e Zelinka (2010).

Observa-se na Tabela 5.1, que os valores médios dos teores de equilíbrio da madeira de teca na primeira desorção foram maiores que na adsorção. Isto ocorre porque na secagem (fase de desorção) a umidade de equilíbrio em uma dada condição ambiental, é mais alta que quando esta madeira adquire umidade do meio ambiente (fase de adsorção) nas mesmas condições ambientais (GLASS; ZELINKA, 2010).

De acordo com Spalt (1958) citados por Glass e Zelinka (2010), como a madeira é seca a partir da condição inicial verde para abaixo do ponto de saturação das fibras (dessorção inicial), o teor de equilíbrio higroscópico da madeira é maior em relação às desorções posteriores. Este comportamento que ocorre na madeira é decorrente da interconversão da ponte de hidrogênio de celulose-água e celulose-celulose.

Ao longo do processo de desorção, várias pontes de hidrogênio entre a celulose e a água são convertidas em pontes de celulose-celulose, que só podem ser desfeitas pela absorção de água à pressão de vapor elevada (KLOCK et al., 2005).

Para o coeficiente de histerese da madeira de teca, no intervalo de 30 a 80% de umidade relativa, foi encontrado um valor de 0,99. Oliveira et al. (1990), encontraram valor médio do coeficiente de histerese para a madeira de pindaíba igual a 0,94, no intervalo de variação de umidade relativa de 20 a 90%, que foi considerado pelos autores uma histerese pouco pronunciada.

De acordo com Skaar (1972) o valor do coeficiente de histerese varia com a espécie, umidade relativa e temperatura, mas que em temperatura ambiente o valor médio para a madeira é próximo de 0,8.

A variação do teor de equilíbrio higroscópico em função da umidade relativa do ar para a madeira de *Tectona grandis*, nas fases de sorção, esta representada na Figura 5.1.

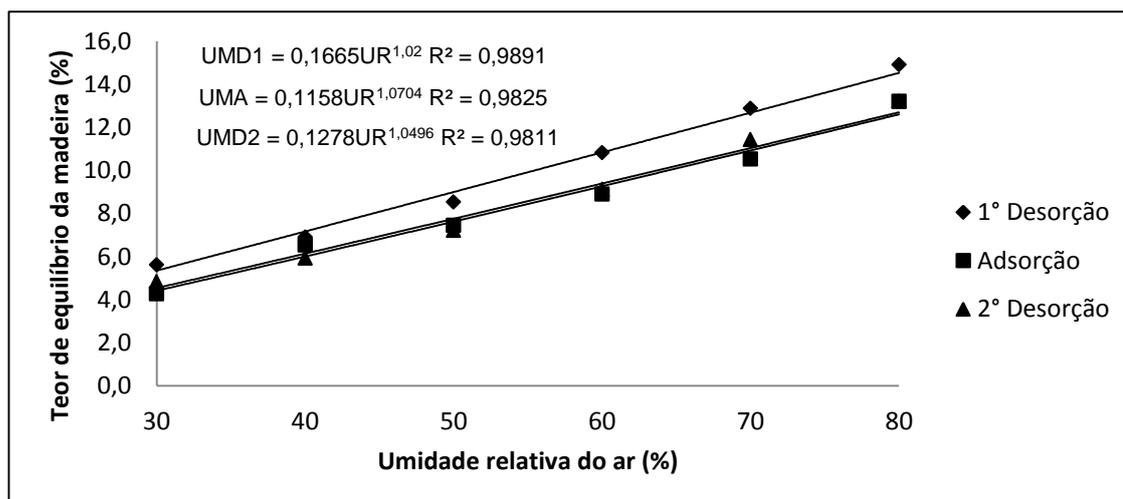


Figura 5.1. Sorção para a madeira de *Tectona grandis*.

UMD1 = umidade de equilíbrio na primeira desorção; UMA = umidade de equilíbrio na adsorção; e UMD2 = umidade de equilíbrio na segunda desorção.

Na Figura 5.1, verifica-se que a segunda desorção a adsorção estão sobrepondo-se. De acordo com Kollmann e Côté (1968) a curva da segunda desorção pode sobrepor-se às outras, em teores baixos ou elevados de umidade relativa.

Segundo Skaar (1988), com a obtenção da segunda desorção, esta curva passará entre a primeira desorção e adsorção. Neste ensaio de sorção para a madeira de teca a curva da segunda desorção ficou abaixo das demais quando a umidade relativa do ar ficou entre 40 e 50%, à medida que se elevou a umidade relativa do ar ela entre a primeira desorção e adsorção.

Observa-se na Figura 5.2, que foram ajustados modelos de regressão com os dados de sorção da madeira de teca para cada fase, onde se pode ajustar com precisão, pelos altos valores de R^2 (coeficiente de determinação), o teor de equilíbrio higroscópico da madeira, dentro da faixa de 30 a 80% de umidade relativa e temperatura constante de 25°C.

Tais informações contidas na Figura 5.2 são importantes para controle de programas de secagem para a madeira de teca.

O teor de equilíbrio higroscópico da madeira também pode ser estimado através de equações propostas por alguns autores. Lovatti (2008), ao estudar o comportamento higroscópico da madeira de sete espécies comercializadas na região sul do Espírito Santo, estimou o teor de equilíbrio higroscópico destas madeiras por meio de equações da literatura, entre umidade relativa de 20 a 90% e temperatura de 25°C.

Na Tabela 5.2, encontram-se as estimativas do teor de equilíbrio higroscópico para a madeira, segundo as equações de Hailwood e Horrobin (equação de dois hidratos), Enderby-King e BET (Brunauer, Emmet e Teller) obtidas por Lovatti (2008), nas mesmas condições de umidade relativa e temperatura deste estudo e os valores do teor de equilíbrio higroscópico para a madeira de teca na primeira desorção, adsorção e segunda desorção obtidos pela equação ajustada.

Tabela 5.2. Umidade de equilíbrio higroscópico obtida por meio de equações da literatura e das equações ajustadas com dados de sorção para a madeira de *Tectona grandis*

Autor	Umidade Relativa (%)					
	30	40	50	60	70	80
Hailwood e Horrobin (dois hidratos)	6,1	7,6	9,1	10,8	12,9	15,8
Enderby-King	6,3	7,8	9,4	11,1	13,3	16,2
BET	5,9	7,4	8,9	10,6	12,6	15,1
Primeira desorção	5,3	7,2	9,0	10,8	12,7	14,5
Adsorção	4,0	6,0	7,6	9,3	10,9	12,6
Segunda desorção	4,5	6,1	7,8	9,4	11,0	12,7

Observa-se na Tabela 5.2 que o teor de equilíbrio higroscópico para a madeira de teca na primeira e segunda desorção, com a umidade relativa do ar entre 50 e 80%, está bem acima dos valores estimados pelas equações da literatura. Na fase de adsorção verificam-se valores de teor de umidade da madeira abaixo de todos os valores determinados pelas equações da literatura e das curvas da primeira e segunda desorção para a madeira de teca.

As equações de Hailwood e Horrobin (dois hidratos) e BET apresentaram teores de equilíbrio higroscópicos bem semelhantes. A equação

de Enderby-King foi a que apresentou os maiores teores de equilíbrio para todas as umidades relativas, entre as equações obtidas da literatura.

A Figura 5.2 ilustra a variação dos teores de equilíbrio higroscópico para as umidades relativas entre 30 e 80%.

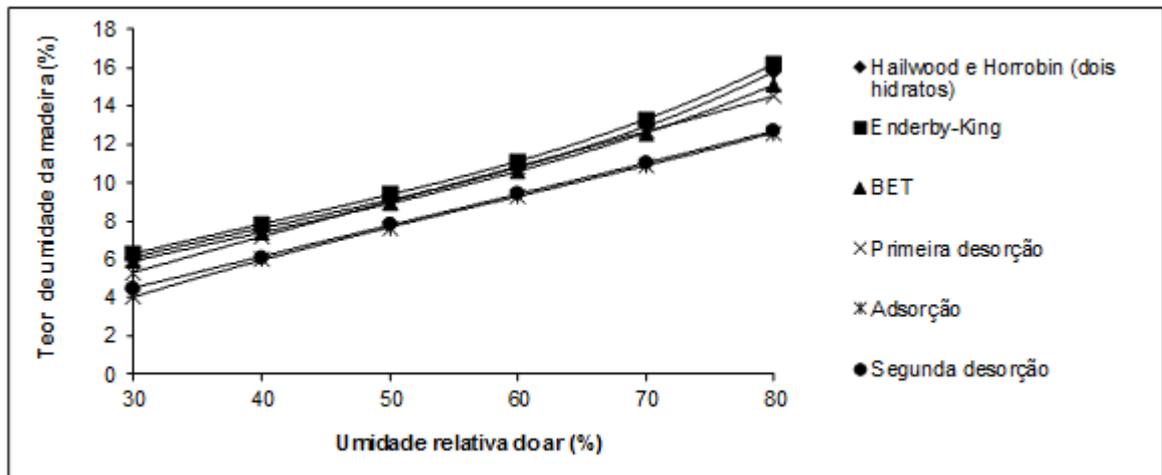


Figura 5.2. Curvas da estimativa do teor de equilíbrio higroscópico da madeira segundo alguns autores e curvas de sorção obtidas a partir das equações ajustadas.

Na Figura 5.2, observa-se que os valores estimados de teor de equilíbrio higroscópico segundo equações da literatura, estão bem próximos entre si, podendo ser verificado pelo feixe das curvas. As curvas da adsorção e segunda desorção da madeira de teca se destacam das demais, com valores de teor de equilíbrio abaixo dos obtidos pelas equações dos demais autores.

4. CONCLUSÕES

- Os valores médios do teor de equilíbrio da madeira de teca foram semelhantes aos determinados para a maioria das madeiras sob condições de umidade relativa do ar e temperatura semelhantes.
- O valor médio do coeficiente de histerese, relação entre a adsorção e a segunda desorção, determinado para a madeira de teca foi acima do valor médio considerado para.
- Os dados da sorção para as três curvas se ajustam muito bem ao modelo de regressão testado.
- O real valor do teor de equilíbrio higroscópico para a madeira de teca na primeira e segunda desorção é inferior ao valor estimado pelas equações de terceiro grau ajustadas.
- As equações determinadas para todas as madeiras representaram bem os dados da teca.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ensaio físicos e mecânicos da madeira – MB-26/40**. Rio de Janeiro, 1940. 16p.

FLYNN JR., J. H.; HOLDER, C. D. **A guide to useful woods of the world**. Forest Products Society. Madison, Wisconsin. ed. 2, 618p. 2001.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 112p. 1985.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. **Moisture relations and physical properties of wood**. Wood HandBook. Forest Products Laboratory: United States Department of Agriculture Forest Service. Madison, Wisconsin. ed. 100, p. 80 – 98, 2010.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Caderno técnico. Brasília, DF. n. 6, 246p. 2006.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. ed. 3. Universidade Federal do Paraná: Curitiba. 81p. 2005. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2010.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, v. 1, 1968.

LOVATTI, L. P. **Madeira serrada na região sul do Espírito Santo: comercialização e propriedades**. 2008. 118f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2008.

MADY, F. T. M. **Física da madeira**. 2010. Disponível em: <http://www.conhecendoamadeira.com/fisica/apostila_fisica_1.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2011.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Ministério da Educação e do Desporto. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 175 p. 2010.

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

OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Estudos das propriedades físicas e tecnológicas da madeira de pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hil.) – densidade, umidade e secagem da madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 139 – 154, 1990.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama.** 1997. 138p. Tese (Livre-Docência) – Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências. Botucatu, 1997.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 233 – 239, 2003.

SKAAR, C. **Water in wood.** Syracuse University Press: Syracuse, New York, ed. 1, 218 p. 1972.

SKAAR, C. **Wood – water relations.** Berlin: Springer-Verlag, 283p, 1988.