



JEIMY BLANCO FLÓREZ

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA
MADEIRA JOVEM DE TECA (*Tectona grandis*
L.f.)**

**LAVRAS – MG - BRASIL
2012**

JEIMY BLANCO FLÓREZ

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA JOVEM DE
TECA (*Tectona grandis* L. f.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como matéria-prima, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

Coorientadores

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

Dr. José Tarcisio Lima

**LAVRAS – MG - BRASIL
2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Blanco Flórez, Jeimy.

Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L. f) / Jeimy Blanco Flórez. – Lavras : UFLA, 2012.

85 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Paulo Fernando Trugilho.

Bibliografia.

1. Madeira. 2. Propriedades. 3. Não-destrutivo. 4. Densidade básica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.1

JEIMY BLANCO FLÓREZ

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA JOVEM DE
TECA (*Tectona grandis* L. f.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como matéria-prima, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2012

Dr. Paulo Fernando Trugilho

UFLA

Dr. José Tarcisio Lima

UFLA

Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein

UFLA

Dr. Paulo Fernando Trugilho

Orientador

**LAVRAS – MG - BRASIL
2012**

*Assim não possamos vê-la existe uma força dentro de nós
impulsionando a seguir em frente, nos encorajando a prosseguir, nos
protegendo, conduzindo o caminho e colocando as pessoas certas nas
nossas vidas. Deus, obrigada!*

*Ofereço este trabalho, àquelas pessoas que oram, torcem, me apoiam e
o mais importante, acreditam em mim em todos os momentos!*

*Dedico este logro a mi familia que siempre me apoyó para cumplir mis
objetivos y me dió fuerzas desde lejos en los momentos difíciles, es por ustedes
que hago todo, especialmente a mi madre Mery por su amor, apoyo constante e
incondicional, a ella pertenece este trabajo.*

AGRADECIMENTOS

À UFLA pela oportunidade para a realização dos estudos, principalmente ao professor Paulo Fernando Trugilho, pelo apoio, orientação, paciência, amizade e ensinamentos. À empresa Votorantim Siderurgia especialmente ao Eng. Raul Melido pelo apoio logístico para coleta e envio do material de estudo. Ao projeto “Desenvolvimento tecnológico do carvão vegetal em Minas gerais” financiado pela FAPEMIG pela concessão da bolsa, em especial à professora Angélica de Cássia Oliveira. Aos professores José Tarcisio Lima e Paulo Hein pelos valiosos aportes para aprimorar este trabalho, assim como aos professores José Reinaldo Moreira da Silva, Lourival Marin Mendes, Fabio Akira e Gustavo Tonoli pelos ensinamentos passados. Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais Carlos, Hernani, José fazenda, Claret, Wilson, Cristiane e Francisca, pela valiosa ajuda nos momentos em que precisei. Aos colegas, Tião, Allan, Isabel, Tathis, Vânia, Edson, Selma, Javan, Raphael, Thiago Monteiro, Lina, Tiago Gontijo, Maíra, Lucas, Fabio e Lidi, que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho, sou muito grata. Agradeço o apoio incondicional da minha amiga Sylvia Martins e sua família que foram a minha durante este período. Às amigas Simone, Meire, Amanda, Cecília e Paula pelo carinho e amizade no convívio. Aos colegas de mestrado e Doutorado da Ciência e Tecnologia da madeira pelos momentos e conhecimentos compartilhados.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu estado original”

Albert Einstein

Resumo

A teca (*Tectona grandis* L.f), originária do sudeste asiático, é uma das espécies madeiráveis mais valiosas, por suas excelentes propriedades físicas e qualidades estéticas. No Brasil, a espécie é amplamente plantada dada sua adaptação às condições climáticas do país e a redução da idade de rotação. Devido a sua recente introdução no país, os estudos referentes às características da madeira ainda são escassos, nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a madeira jovem da espécie teca (*Tectona grandis* L.f). Foram utilizadas nove árvores escolhidas aleatoriamente num plantio experimental estabelecido no noroeste do estado de Minas Gerais (Brasil) com 13 anos de idade. Foi realizada a avaliação não destrutiva nas árvores vivas utilizando os equipamentos Extensômetro (Medidor de Deformação Residual Longitudinal - DRL), Pilodyn® e Resistograph® e posteriormente as árvores foram abatidas para a confecção de corpos de prova e determinação das propriedades físicas, químicas, anatômicas e mecânicas da madeira. Foram determinadas também as relações entre as características avaliadas pelos ensaios não destrutivos e destrutivos da madeira. Os valores médios encontrados para a DRL, penetração do pino do Pilodyn® e a amplitude medida com Resistograph® foram, respectivamente, de 0,047 mm, 12,11 mm e 13,34 %. A proporção de cerne foi de 51,44% e a excentricidade da medula de 8,98%. O valor da densidade básica média foi de 0,538 g/cm³. A teca apresentou contração radial, tangencial e volumétrica de 2,40%, 4,21% e 6,84%, respectivamente, e o coeficiente de anisotropia de 1,82. A composição química encontrada foi, respectivamente, de 57,94%, 32,47%, 8,94% e 0,64% de holocelulose, lignina, extrativos e cinzas. Na flexão estática, o módulo de elasticidade (MOE) foi de 133.040 kgf/cm² e módulo de ruptura de 937 kgf/cm², na compressão paralela às fibras, o MOE foi de 69.021 kgf/cm² e resistência máxima de 475 kgf/cm² e a dureza Janka foi de 450 kg. De modo geral os resultados mostraram que as características da madeira jovem de teca plantada no Brasil assemelham-se às da teca proveniente de outros locais de plantação e de origem da espécie. A madeira apresentou alta proporção de cerne, alta estabilidade dimensional e propriedades mecânicas superiores à média reportada na literatura para a idade considerada. O valor da DRL é um indicador de baixos níveis de tensões de crescimento na madeira da teca. Correlações altas foram determinadas entre a densidade básica com a profundidade do Pilodyn®, dureza e espessura da parede celular.

Palavras-chave: Teca, *Tectona grandis*, propriedades da madeira, não destrutivo, densidade básica.

Resumen

La teca (*Tectona grandis* L.f) originaria del sur de Asia, es una de las especies maderables más valiosas por sus excelentes propiedades físicas e estéticas. En Brasil, esta especie es ampliamente plantada dada su adaptación a las condiciones climáticas del país y a la reducción de la edad de rotación. Debido a su reciente introducción al país son escasos los estudios sobre características de esta madera, en ese contexto el objetivo de este trabajo fue caracterizar la madera joven de la especie teca (*Tectona grandis* L.f). Para ello fueron muestreados nueve árboles elegidos al azar dentro de una plantación experimental establecida en la región noroeste del estado de Minas Gerais (Brasil) con 13 años de edad. Se realizó la evaluación no-destructiva en los árboles en pie empleando los instrumentos Extensômetro (Medidor de Deformación Residual Longitudinal DRL), Pilodyn® y Resistograph®, posteriormente los árboles fueron talados con el fin de confeccionar las probetas para la determinación de las propiedades físicas, químicas, anatómicas y mecánicas de la madera. Se determinaron las relaciones entre las características evaluadas en los ensayos no-destructivos y destructivos de la madera. Los valores promedio encontrados para la DRL, penetración del pino de Pilodyn® y la amplitud medida con el Resistograph®, fueron respectivamente de 0,047mm, 12,11 mm de 13,34 %. La proporción de duramen fue de 51,44 % y la excentricidad de la médula de 8,98%. La densidad básica promedio fue de 0,538 g/cm³. La teca presentó una contracción radial, tangencial y volumétrica de 2,40%, 4,21% y 6,84% respectivamente y el coeficiente de anisotropía fue de 1,82. La composición química encontrada fue respectivamente de 57,94% 32,47 8,94% % 0,64% para holocelulosa, lignina, extractivos y cenizas. El módulo de elasticidad (MOE) para la flexión estática fue de 133.040 kgf/cm² y el módulo de ruptura (MOR) de 937 kgf/cm², para la compresión paralela a las fibras el MOE fue de 69.021 kgf/cm² y la resistencia máxima de 475 kgf/cm², y la dureza Janka con un valor de 450 kg. En términos generales los resultados indican que las características de la madera joven plantada en Brasil se asemejan a las de maderas de teca provenientes de otros lugares de plantación y de origen de la especie. La teca joven presentó un alto contenido de duramen, alta estabilidad dimensional, y propiedades mecánicas superiores al promedio encontrado en la literatura para ese rango de edad. El valor de DRL es un indicativo de bajos niveles de tensiones de crecimiento en la teca. Correlaciones altas fueron encontradas entre la densidad básica de la madera y la profundidad del pino de Pilodyn®, la dureza y el espesor de la pared celular.

Palabras clave: Teca, *Tectona grandis*, propiedades de la madera, no-destructivo, densidad básica.

Abstract

Teak (*Tectona grandis* Lf), originated from the Southeast Asia, is one of the most valuable timber species, due to their excellent physical and aesthetic qualities. In Brazil, the species is widely planted due to its adaptation to climatic conditions and the reduction in rotation age. Due to its recent introduction, studies regarding the characteristics of wood growing in the country are still scarce, in that context, this study aimed to characterize the young teak wood species (*Tectona grandis* Lf). We used nine randomly selected trees in an experimental plantation established in the Northwestern State of Minas Gerais (Brazil) with 13 years old. We performed nondestructive evaluation in standing trees using equipment such as extensometer (gauge Deformation Residual Longitudinal - DRL), Pilodyn® and Resistograph® and later the trees were felled for preparing the specimens and determining of the physical, chemical, anatomical and mechanical properties of wood. The relationships between the characteristics evaluated with the non-destructive testing were determined. The average value found for the DRL was 0.047 mm, depth of penetration of the Pilodyn® pin was 12.11 mm and measured with Resistograph® was 13.34%. The proportion of the heartwood was 51.44% and the pith eccentricity was 8.98%. The average value of the basic density was 0.538 g/cm³. Teak had shrinkage of 2.40% and 4.21%, respectively, in radial and tangential direction, volumetric shrinkage of 6.84%, and the anisotropy coefficient of 1.82. The chemical composition was, respectively, 57.94%, 32.47%, 8.94% and 0.64%, for the holocellulose, lignin, extractives and ash content. In the static bending, the young modulus (MOE) was 133040 kgf/cm² and modulus of rupture (MOR) of 937 kgf/cm², and compression parallel to grain, the MOE was 69021 kgf/cm² and maximum strength of 475 kgf/cm², the hardness was 450 kg. In general the results showed that the characteristics of teak wood young grown in Brazil resemble teak wood from other planting places and the species of origin. The wood had a high proportion of heartwood, high dimensional stability and mechanical properties above the average reported in the literature for this age group, which gives quality support for noble uses. The value of the DRL can be considered indicative of low levels of growth stresses on teak wood, high correlations were determined between specific gravity and the depth of penetration of the Pilodyn® pin, hardness, and thickness of the cell wall.

Keywords: Teak, *Tectona grandis*, wood properties, non-destructive, basic density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	a) Árvore de <i>Tectona grandis</i> L.f, b) Folhas e flores, c) Frutos.....	20
Figura 2	a) Corte transversal do lenho de teca b) Corte longitudinal c) móveis de exterior e piso em teca.	22
Figura 3	Localização do município de Vazante, estado de Minas Gerais (Brasil).....	32
Figura 4	Plantio de teca (<i>Tectona grandis</i> L.f) na região de Vazante-MG...	33
Figura 5	Extensômetro, medidor da deformação residual longitudinal DRL.	34
Figura 6	Detalhe do Resistograph® para avaliação não destrutiva na teca. .	35
Figura 7	Aparelho Pilodyn® para avaliação não destrutiva na teca.	35
Figura 8	Seqüência de amostragem longitudinal nas árvores de teca: 1) Toras de 2,6 metros de comprimento; 2) Discos tirados das extremidades das toras; 3) Confecção de cunhas; 4) Cunhas 1 e 2 destinadas a densidade básica e cunhas 3 e 4 para análise química e anatômica; 5) Corpos-de-prova para retratibilidade; 6) Corpos-de-prova para ensaios mecânicos.	37
Figura 9	Determinação da proporção de cerne e alburno e excentricidade da medula na teca em Auto CAD 2007.....	39
Figura 10	Distribuição da tensão periférica de crescimento longitudinal da madeira de teca.....	46
Figura 11	Exemplo da amplitude medida ao longo da seção diametral da árvore de teca.	47
Figura 12	Variação longitudinal da densidade básica na madeira de teca.....	53
Figura 13	Valores médios da retratibilidade da madeira de teca a 12% e 0% de umidade.	55

Figura 14	Potencial de geração de biomassa na teca (BIOMASSA, 2012)....	58
Figura 15	a) Fibras da madeira de teca em aumento 10 x sob microscópio de luz, b) Elemento de vaso da madeira de teca (10x), c) Fibra da madeira de teca (4x) mostrando a espessura da parede celular.	60
Figura 16	a, b, c, d - Tipos de ruptura no ensaio de flexão estática.	62
Figura 17	Tipos de ruptura na compressão paralela às fibras.	63
Figura 18	Tipos de depressão na madeira pelo ensaio de dureza Janka.	64
Figura 19	Relação entre a densidade básica e o Pilodyn® para as árvores de teca.	66
Figura 20	Relação entre a densidade básica e a amplitude para as árvores de teca.	66
Figura 21	Relação entre a densidade básica e a deformação residual longitudinal (DRL).	67
Figura 22	Relação entre a densidade básica e a dureza Janka.	69
Figura 23	Relação entre a densidade básica e a espessura da parede das fibras.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análises químicas da madeira de teca.....	42
Tabela 2	Especificações dos ensaios mecânicos.....	44
Tabela 3	Valores médios dos ensaios não destrutivos na madeira de teca....	45
Tabela 4	Valores médios das variáveis dendrométricas mensuradas nas árvores de teca.....	48
Tabela 5	Valores médios de cerne, alburno e excentricidade da medula na madeira de teca.....	49
Tabela 6	Valores médios e coeficiente de variação para o valor da densidade básica na madeira de teca.....	51
Tabela 7	Valores médios da retratibilidade na madeira de teca.....	54
Tabela 8	Valores médios da composição química da madeira de teca.....	55
Tabela 9	Composição elementar e poder calorífico superior na madeira de teca.....	57
Tabela 10	Valores médios para os elementos celulares da madeira de teca. ..	58
Tabela 11	Valores médios das propriedades mecânicas na madeira de teca...	60
Tabela 12	Correlações entre as características na madeira de teca.....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Origem, distribuição geográfica e ecologia da espécie <i>Tectona grandis</i> L.f.....	18
2.2	A teca no Brasil	20
2.3	Características e usos da madeira de teca.....	21
2.4	Fatores que influenciam a qualidade da madeira de teca	23
2.4.1	Proporção cerne/alburno.....	24
2.4.2	Madeira juvenil e madeira adulta	25
2.4.3	Influência do espaçamento de plantio	26
2.5	Métodos não destrutivos para determinação das propriedades da madeira nas árvores vivas	27
2.5.1	Extensômetro (Medidor de deformação residual longitudinal).....	27
2.5.2	Resistograph®	29
2.5.3	Pilodyn ®	31
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Localização do experimento	32
3.2	Material biológico	33
3.3	Amostragem não destrutiva	34
3.3.1	Extensômetro.....	34
3.3.2	Resistograph®	34
3.3.3	Pilodyn®	35
3.4	Amostragem destrutiva	36
3.5	Determinação das propriedades da madeira.....	38
3.5.1	Variáveis dendrométricas, proporção de cerne e alburno e excentricidade da medula na madeira de teca.....	38

3.5.2	Densidade básica e aparente da madeira.....	40
3.5.3	Retratibilidade	40
3.5.4	Caracterização química da madeira	41
3.5.5	Caracterização elementar e energética da madeira.....	42
3.5.6	Características anatômicas	42
3.5.7	Propriedades mecânicas	43
3.6	Análises estatísticas.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Avaliação não destrutiva da madeira.....	45
4.2	Variáveis dendrométricas.....	47
4.3	Proporção de cerne e alborno e excentricidade da medula na madeira de teca	49
4.4	Densidade básica e aparente da madeira de teca	51
4.5	Retratibilidade.....	53
4.6	Composição química da madeira.....	55
4.7	Composição elementar e poder calorífico superior.....	57
4.8	Elementos celulares.....	58
4.9	Propriedades mecânicas	60
4.9.1	Valores MOE e MOR na flexão estática	60
4.9.2	Valores de resistência na compressão paralela às fibras.....	62
4.9.3	Dureza Janka.....	64
4.10	Correlações entre as variáveis estudadas.....	65
5	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS.....	73
	ANEXOS.....	82

1 INTRODUÇÃO

As plantações florestais, além de fornecerem matéria-prima para os diversos usos industriais e domésticos, cumprem diversas funções ambientais e sociais, desempenham um papel importante no desenvolvimento sustentável e contribuem com a conservação das florestas nativas. Considerando que a madeira é um dos materiais mais usados pelo homem e com o aumento da procura de matéria-prima para os diversos setores, as espécies de rápido crescimento vem ganhando um papel importante para o suprimento de madeira, tendo em vista os alto índices de desmatamento a nível mundial (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO 2009a, 2009b).

A teca (*Tectona grandis* L.f) é uma das espécies mais plantadas no mundo e caracteriza-se por ser uma das madeiras mais valiosas, devido às suas excelentes propriedades físicas, a alta durabilidade natural, estabilidade dimensional e qualidades estéticas. Essa madeira apresenta alta demanda para usos específicos, como a construção de embarcações, fabricação de móveis e objetos luxuosos, assim como componentes decorativos para construção.

Nativa do sul da Ásia, a teca é plantada na América latina desde a década de 1970, no Brasil foi introduzida no estado do Mato Grosso em 1971 e hoje apresenta um elevado aumento dos plantios dessa espécie decorrente dos altos preços da madeira no mercado mundial, as boas condições de crescimento em algumas regiões do país e a possibilidade de diminuir o ciclo de corte de 80 para 20- 25 anos. Com essa tendência de aproveitamento das florestas plantadas em ciclos cada vez mais curtos devido ao crescimento rápido, obtêm-se árvores de dimensões comerciais em um período mais curto de tempo, gerando conseqüentemente maior quantidade de madeira juvenil, existindo a

possibilidade de que a madeira seja de uma qualidade inferior em relação à madeira adulta e, portanto, com inferiores propriedades.

Assim, com o propósito de subsidiar a definição do melhor uso racional da madeira, deve-se procurar compreender melhor o seu comportamento, o qual passa pelo conhecimento das suas características intrínsecas que, devido a sua natureza e origem biológica, apresentam uma grande variabilidade, especialmente quando se considera a idade, origem, entre outras.

Considerando sua recente introdução ao Brasil, a maior parte dos estudos está voltada a aspectos silviculturais da espécie, assim são escassos os estudos referentes às características da madeira obtida de florestas plantadas de teca no país, portanto se faz necessário conhecer quais são as características dessa madeira jovem plantada no país, visando a estabelecer a qualidade da matéria-prima produzida. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram:

- a) Determinar as variáveis dendrométricas, proporção de cerne e alborno e excentricidade da medula na madeira de teca;
- b) Realizar a avaliação não destrutiva nas árvores vivas da teca usando os equipamentos Extensômetro, Resistograph® e Pilodyn®;
- c) Caracterizar as propriedades físicas de densidade básica e retratibilidade;
- d) Determinar as características químicas e anatômicas;
- e) Conhecer as propriedades mecânicas dessa madeira;
- f) Determinar e avaliar as relações entre os ensaios não destrutivos e as propriedades estudadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem, distribuição geográfica e ecologia da espécie *Tectona grandis*

L.f

A Teca (*Tectona grandis* L.f) é a espécie de madeira tropical mais plantada no mundo, estima-se que 74% do total das plantações de madeiras duras (hardwoods) no mundo são de teca com aproximadamente 5'819.000 hectares, é cultivada há mais de 150 anos em mais de 50 países dentro e fora da área de distribuição natural. A teca tem sido reconhecida como uma madeira de alta qualidade, devido a suas excelentes propriedades, tornando-a uma das madeiras mais valiosas do mundo junto a espécies como o cedro e o mogno. Essas propriedades, particularmente para o cerne, incluem a combinação de força com leveza, durabilidade, estabilidade dimensional, facilidade de trabalhar com ferramentas e acabamento, resistência a cupim, fungos, químicos, água, às condições atmosféricas, à corrosão, além da beleza e estética. A versatilidade dessa madeira a converte eminentemente em uma madeira de uso múltiplo para uma grande variedade de usos finais (FAO, 2009a, 2009b).

A espécie tem origem natural na Índia, Mianmar, República Democrática Popular Laos e Tailândia e tem sido aclimatada em Java-Indonésia onde provavelmente foi introduzida de 400 a 600 anos atrás (PANDEY; BROWN, 2000). A distribuição natural da teca compreende a região entre as latitudes 10°N a 23°N no sudeste da Ásia, porém plantações bem sucedidas estendem-se hoje desde os 28°N até os 18°S compreendendo o sudeste de Ásia, Austrália, África e América latina (WEAVER, 1993). A região que mais concentra a área plantada de teca com 94% é a Ásia Tropical (Índia, Java-Indonésia, Laos, Tailândia, Mianmar, Bangladesh e Sri Lanka), 4,5% encontram-se na África Tropical (Côte d'Ivoire e Nigéria) e 0,5% nos países da América tropical, principalmente em Costa Rica, Panamá, Colômbia, Ecuador,

Venezuela, Trinidad e Tobago e Brasil (PANDEY; BROWN, 2000). Alguns dos nomes comuns usados para a denominação da madeira são Jati (Indonésia), Java teak (Germany), Kyun (Mianmar), Teca (Brasil), Tek (Indonésia).

A teca é uma espécie de alta adaptabilidade a diferentes climas, cresce em áreas tropicais de clima de monção com precipitações entre 1300 e 2500 mm ano⁻¹ e temperaturas de 2° e 48°C, porém se desenvolve melhor com uma temperatura mínima de 13°C a 17°C e máxima de 39°C a 43°C e temporadas secas de 3 a 5 meses (PANDEY; BROWN, 2000; WEAVER, 1993). A teca tolera condições de solo bem extremas sempre que existir uma drenagem adequada e não tolera o alagamento. Segundo Seth e Yadav (1959 citados por PANDEY; BROWN, 2000), as plantações de teca têm sido um fracasso quando se estabelecem em solos de tipo argiloso ou mal drenados.

A (*Tectona grandis* L.f), teca, pertence à família botânica Lamiaceae, é uma árvore de grande porte, caducifólia, copa arredondada, com fuste cilíndrico revestido de uma casca grossa, apresenta alargamentos na base da árvore, produzidas por inchaço exagerada das raízes, folhas com 30 a 60 cm de comprimento. O fruto é de tipo drupa, de cor marrom claro com vilosidades finas, tem um endocarpo duro com 4 sementes cada uma com 0,6 cm de comprimento. Flores pequenas em panículas eretas e ramificadas amarelo-esbranquecidas (Ver figura 1a). A teca é uma espécie de polinização cruzada, principalmente as abelhas são as mais importantes responsáveis (WEAVER, 1993). Pode alcançar até 45 metros de altura e 100 cm de diâmetro sob boas condições de crescimento. É uma espécie que não tolera sombra em nenhuma fase do seu ciclo vital. Começa a florescer e produzir sementes a partir dos dez anos em alguns casos (PANDEY; BROWN, 2000).



Figura 1 a) Árvore de *Tectona grandis* L.f, b) Folhas e flores, c) Frutos

2.2 A teca no Brasil

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2011), a teca no Brasil é plantada em escala comercial, principalmente, nos estados do Mato Grosso, Amazonas e Acre. Cultivada desde o século XVIII, quando se destinava principalmente à construção naval, a teca atualmente serve para múltiplos fins, tais como na construção civil, na fabricação de assoalhos e *decks*, sendo também destinada ao setor mobiliário, de embarcações, laminados decorativos e adornos em geral. A área de florestas plantadas com teca no Brasil atingiu, em 2010, uma área estimada de 65.440 ha, enquanto em 2008 o total foi de 58.810 ha. Tais áreas representam o crescimento de 11,2% na área plantada deste grupo de espécies no país, indicando o interesse crescente por tal gênero florestal, principalmente em função das expectativas de retorno financeiro em projetos com a mesma. Estudos realizados por Ângelo et al. (2009) determinaram a maturidade financeira da teca dos 14 aos 20 anos e sugerem que essa madeira gera um investimento lucrativo para os produtores com taxas de crescimento dependendo do contexto financeiro e um retorno do investimento de 12%.

Plantios comerciais da espécie foram implantados em Cáceres região do Mato Grosso no início da década de 1970, atualmente é o estado que possui a maior área plantada. Os espaçamentos mais utilizados no Brasil para a teca são, principalmente, 2 m x 2,5 m (2.000 plantas.ha⁻¹), 3 m x 2 m (1.667 plantas.ha⁻¹), 3 m x 3 m (1.111 plantas. ha⁻¹), também tem sido utilizados em sistemas agroflorestais a uma distância de 5 m x 5 m (400 plantas.ha⁻¹) (FIGUEIREDO, 2005).

Macedo et al. (2005), avaliando o crescimento inicial de populações de Teca de 3 anos de idade, em diferentes espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais, concluiu que esta espécie apresenta potencial de estabelecimento na região e o espaçamento 3 x 2 m apresentou maior crescimento. Em relação à produtividade, a teca apresenta um incremento médio anual (IMA) de 10 a 15 m³ ha⁻¹.ano⁻¹. Segundo estudos desenvolvidos em Trinidad com teca, foi possível determinar que o padrão de incremento da teca assemelha-se ao das espécies de rápido crescimento como os pinos tropicais, onde o valor máximo de Incremento médio anual (IMA) ocorre a uma idade entre os 7 e 12 anos, portanto é possível manejar a teca em ciclos curtos de 15 a 25 anos (LADRACH, 2009).

As condições climáticas adequadas para o pleno desenvolvimento da teca no Brasil proporcionam taxas de crescimento superiores às dos plantios da maioria dos países produtores dessa madeira, obtendo madeira de dimensões comerciais em ciclos de 20 a 25 anos, os quais estimulam a implantação de plantios comerciais da espécie no país.

2.3 Características e usos da madeira de teca

A cor da madeira recém-abatida é verde oliva e muda para marrom claro com a exposição à secagem. O alburno é amarelo esbranquiçado e difere

marcadamente da cor do cerne. (Ver figura 2). A madeira tem falsos anéis formados por uma porosidade em anel semicircular, possui uma fibra reta, textura uniforme e oleosa ao tato, apresenta um ligeiro aroma depois da secagem. A madeira seca ao ar rapidamente e de forma satisfatória, também seca ao forno, mas deve se procurar fazê-lo lentamente para evitar defeitos (WEAVER, 1993).



Figura 2 a) Corte transversal do lenho de teca b) Corte longitudinal c) móveis de exterior e piso em teca.

A teca possui em média uma densidade básica de $0,55 \text{ g/cm}^3$, porém existem variações dependendo do local e da idade, por exemplo, na Costa Rica, Moya e Arce (2003) encontraram que o valor da densidade básica varia com a idade e no sentido radial do tronco, com valores que vão desde $0,40 \text{ g/cm}^3$ até $0,60 \text{ g/cm}^3$ para idade de 10 anos. Um estudo desenvolvido na Venezuela com teca de 20 anos de idade determinou valores para a densidade básica entre $0,54 \text{ g/cm}^3$ e $0,67 \text{ g/cm}^3$ (VALERO; REYES; GARAY, 2005). A densidade básica está relacionada diretamente com as propriedades físico-mecânicas da madeira, possibilitando estabelecê-la como um padrão para avaliar características como resistência e estabilidade dimensional. No aspecto mecânico, a madeira de teca é resistente aos esforços de tração e flexão semelhante ao mogno brasileiro

(INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, 2012).

Estudos realizados com propriedades mecânicas e físicas na província de Abangares na Costa Rica encontraram valores altos para os esforços de flexão estática, dureza, compressão paralela e perpendicular às fibras consideravelmente altos o que dá para sua utilização em barcos, pisos assoalhos, móveis interiores e exteriores (CASTRO, 2000).

A madeira é de boa trabalhabilidade com ferramentas manuais e elétricas, mas contém sílica que tende a diminuir a afiação dos instrumentos. A madeira é fácil de colar, fácil acabamento e utilização de pregos e parafusos (FONSECA, 2004). No início deste século, a teca foi utilizada na Índia para construção de casas, pontes e portos. A estabilidade da teca a faz material ótimo para cobertas de embarcações, móveis finos, pisos, marcenaria, acabamentos interiores, vergas e portas, painéis, esculturas, torneados entre outros usos nobres. Tem sido relatado que teca é também usada para os mastros e cabides, suportes em minas de carvão, dormentes, ornamentais, placa, pianos, órgãos e harmônios, chaves de violinos e rapé (WEAVER, 1993).

Estudos químicos em teca registraram a presença de uma substância pertencente à classe das antraquinonas, a tectoquinona, à qual são atribuídas propriedades antifúngicas, bactericidas e repelentes a ataques de alguns insetos, sendo por isso responsabilizada pela durabilidade da madeira quando exposta aos rigores do tempo (RANGANATHAN et al., 1949; RUDMAN; COSTA, 1958; SANDERMANN; SIMATUPANG, 1966 citados por MOREIRA, 2006).

2.4 Fatores que influenciam a qualidade da madeira de teca

A qualidade da madeira foi definida por Englerth (1966) como:

“a combinação das características físicas e químicas de uma árvore ou partes dela, que permite a melhor utilização da sua madeira para um uso pretendido”.

Nesse contexto, a adequação da madeira a sua utilização final requer a análise tanto das características intrínsecas associadas à formação da madeira, como dos fatores externos que afetam significativamente a qualidade da matéria-prima obtida. Considerando que a teca é uma das madeiras mais valiosas no mercado internacional, existem regras de classificação que determinam as características de madeira de qualidade, refletida em propriedades como a densidade básica, comportamento mecânico, proporção de cerne e alburno, proporção de madeira juvenil e madeira adulta, presença de defeitos, conicidade entre outros, características que são resultado da interação de diversos fatores como espaçamento de plantio, tratos silviculturais, sítio, clima e solo e fatores genéticos, os quais têm sido amplamente estudados. A seguir serão abordados alguns desses aspectos.

2.4.1 Proporção cerne/alburno

A proporção de cerne em árvores de teca é um fator importante no que diz respeito à qualidade da madeira. Durante o processo da formação do cerne certos processos químicos tem lugar, o que melhora a durabilidade e altera a cor da madeira (HIGUCHI, 1997 citado por KOKUTSE et al., 2004). Um máximo de volume de cerne é desejável para a utilização final. Em comparação com outras espécies plantadas, a formação do cerne começa relativamente cedo na vida das árvores de teca, cerca de 7 anos de idade (OKUYAMA et al., 2000 citados por KOKUTSE et al., 2004; ROSS; PHILIP, 1959 citados por WEAVER, 1993). Na idade de 11-13 anos, 30% da superfície da madeira é transformada em cerne na teca procedente do Togo, que é menor do que na teca crescendo em Kerala Índia, onde o mesmo volume de cerne é já formada em

árvores de 8 anos de idade (BHAT, 1995 citado por KOKUTSE et al., 2004). O volume de cerne de povoamentos de teca, portanto, parece ser influenciada pela idade da árvore, as práticas silviculturais e a procedência genética (KOKUTSE, 2004). A proporção de cerne do caule da árvore de teca depende não só da idade, mas também da zona ecológica em que as árvores crescem (BHAT; PRIYA; RUGMINI, 2001).

2.4.2 Madeira juvenil e madeira adulta

A madeira juvenil corresponde a uma região central da árvore de forma cilíndrica, com diâmetro aproximadamente uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

Segundo Bendtsen (1978) e Ramsay e Briggs (1986) citados por Palma, Leonello e Ballarin (2010), a madeira juvenil é o xilema secundário formado durante a fase jovem do cambio vascular da árvore (início da vida da árvore) esse período pode variar de acordo com a espécie e as condições ambientais. Panshin e Zeeuw (1980 citados por BHAT; PRIYA; RUGMINI, 2001) sugerem que a madeira juvenil e a madeira madura devem ser reconhecidas como duas populações distintas na mesma árvore, a madeira madura possuindo características consideradas normais enquanto que a madeira juvenil com características inferiores. A base primária para definir a madeira juvenil é a estrutura anatômica, com várias das suas propriedades principalmente o comprimento e espessura da parede da célula. Richter, Leitoff e Sonntag (2003), caracterizando madeira juvenil de teca crescendo em Ghana, determinaram uma diminuição do ângulo microfibrilar em madeira de 5 a 20 anos, mas, quase todos os parâmetros foram muito variáveis para definir o limite entre a madeira juvenil e madeira adulta.

A madeira juvenil diferencia-se da madeira adulta de maneira geral por apresentar menor densidade, elementos celulares mais curtos, maior ângulo microfibrilar, maior proporção de lenho de reação, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e hemicelulose e menor resistência em relação à madeira adulta (BENDTSEN, 1978; SENFT; BENDTSEN; GALLIGAN, 1986; ZOBEL, 1984 citados por PALMA; LEONELLO; BALLARIN, 2010).

Estudos desenvolvidos por Bhat, Priya e Rugmini (2001) com madeira juvenil de teca em Índia determinaram a similaridade entre as propriedades mecânicas da madeira juvenil (20 - 25 anos) e adulta (50- 60 anos).

2.4.3 Influência do espaçamento de plantio

O espaçamento de plantio e o regime de desbaste afetam diretamente a qualidade da madeira (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989). A escolha do espaçamento de plantio tem por objetivo proporcionar para cada indivíduo o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com a melhor qualidade e menor custo. O espaçamento ótimo é aquele capaz de fornecer o maior volume do produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis sendo função do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado, para a teca, a escolha do espaçamento depende do tipo de produto que se espera obter (MACEDO et al., 2005). As mudanças ocorridas na qualidade da madeira em decorrência do espaçamento, de maneira geral estão associadas a um aumento no tamanho da copa devido à competição por nutrientes disponíveis e as variações nos processos fotossintéticos, ao aumentar ou diminuir o número de árvores no plantio, com uma consequente alteração da taxa de crescimento (ROCHA; DELLA, 1987).

2.5 Métodos não destrutivos para determinação das propriedades da madeira nas árvores vivas

Os métodos de amostragem para determinação das propriedades da madeira podem ser destrutivos e não-destrutivos. As técnicas destrutivas envolvem a derrubada das árvores, extração de discos e obtenção de corpos de prova, o que gera mais tempo e custos no processo, também esse tipo de amostragem, às vezes, pode ser restrito a uma única amostra e essa amostra pode ou não ser representativa do todo. Muitas organizações de pesquisa florestal enfrentam essa situação utilizando a avaliação não destrutivas (HANSEN, 2000). Segundo Ross, Brashaw e Pellerin (1998 citados por COUTO, 2011), a avaliação não-destrutiva é definida como sendo a ciência da identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar a capacidade de uso final. Ainda que exija a retirada de pequenos corpos-de-prova, esse tipo de avaliação geralmente não danifica a capacidade estrutural de madeira apresentando outras vantagens como rapidez de execução e relativo baixo custo.

Os métodos mais utilizados na árvore viva são:

2.5.1 Extensômetro (Medidor de deformação residual longitudinal)

Segundo Lima (2004), entre os métodos considerados não-destrutivos ou semidestrutivos para medição das deformações associadas às tensões de crescimento está o desenvolvido pelo CIRAD-Forêt (BAILLÈRES; DURAND, 2000), que consiste em medir, com o auxílio de um relógio comparador, a deformação sofrida na área central entre dois pinos fixados a 45 mm um do outro, ao longo da grã, na superfície do tronco sem casca. Para liberar as tensões e promover a movimentação dos pinos, entre os mesmos é feito um furo com

uma broca de 20 mm de diâmetro. Em consequência, os processos de medições utilizados determinam as deformações, e não as tensões (LISBOA, 1993 citado por LIMA, 2004).

Tensões de crescimento são o resultado da ação de forças internas que atuam sobre os tecidos das árvores, de forma a mantê-las íntegras e eretas. São características do crescimento natural das árvores e ocorrem igualmente tanto em folhosas como em coníferas (JACOBS, 1945). Mattheck e Kubler (1995 citados por LIMA, 2004) ressaltaram a importância dessas tensões para a sobrevivência das árvores, ao afirmarem que inevitáveis pontos de fraqueza em sua estrutura são contrabalançados pelo desenvolvimento das tensões de crescimento, as tensões reagem às cargas críticas que podem causar ruptura. O papel principal destas tensões é fornecer suporte à árvore durante a sua vida. Através da sua ativação, a árvore regula a posição de sua copa em resposta às condições ambientais que lhe são impostas. Como as árvores estão imóveis, a ação das tensões em um de seus lados, por exemplo, permite que ela se curve numa direção mais favorável, embora árvore de grande diâmetro necessite de vários anos para, lentamente, se endireitarem (KUBLER, 1987). Espécies como do gênero *Eucalyptus* são mais suscetíveis aos efeitos das tensões de crescimento principalmente após o abate e desdobro de toras. O resultado dessas tensões reflete-se na diminuição do rendimento em madeira serrada e até mesmo, em certos casos, provocando a sua inutilização na indústria de transformação, levando a aumento dos custos de produção. Defeitos como as rachaduras e os empenamentos são causados por estas tensões internas de crescimento, as quais são liberadas por ocasião do abate da árvore (TRUGILHO et al., 2006).

Tais tensões possuem magnitude variada, podendo ser de tração ou compressão em função da localização dentro do xilema e de sua direção de atuação: longitudinal, tangencial e radial (SEVERO, 2002 citado por

TRUGILHO et al., 2006). As medições com o extensômetro fornecem dados digitais de deformação residual longitudinal DRL que está diretamente relacionado com a tensão longitudinal de crescimento, dessa forma quanto menor é o valor da DRL, menores níveis de tensões internas de crescimento e madeira mais favorável ao uso como produto sólido.

Estudos no Brasil realizados por Lima (2004) e Trugilho et al. (2006), com espécies do gênero *Eucalyptus*, Devlieger e Quintana (2006) no Chile estudando tensões de crescimento de híbridos de Álamo e Touza (2001) em *Eucalyptus globulus* na Espanha, utilizaram o equipamento extensômetro CIRAD-Forêt (BAILLÈRES; DURAND, 2000) para determinar as deformações decorrentes das tensões de crescimento, assim o uso do equipamento apresenta-se como rápido e confiável para a estimativa desta característica do crescimento das árvores.

2.5.2 Resistograph®

De acordo com Rinn et al. (1996), o princípio do resistógraph® é bastante simples: uma broca de 3 mm de diâmetro, feita de aço, é direcionada para dentro da madeira a uma predeterminada taxa, dependendo da espécie de madeira, e do modelo empregado. Ao atravessar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, refletindo a condição estrutural das paredes celulares, as variações entre lenhos inicial e tardio nos anéis de crescimento, seu desenho típico (por exemplo, anéis difusos ou porosos) e a forma em que a árvore tem se desenvolvido em resposta às condições ambientais. A variação na resistência resulta em aumentos e decréscimos na intensidade de torque aplicado à haste da broca. Por meio de sensores mecânicos e eletrônicos, variações no torque correspondentes ao consumo de potência da furadeira são medidas eletronicamente como um valor de resistência à

perfuração. A medição fornecida pelo resistógrafo é denominada de amplitude pelo fabricante e é expressa em porcentagem. A amplitude indica o consumo energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira em relação a um valor de referência do aparelho. Inicialmente foi utilizado para determinar condições patológicas *in situ* em tronco de *Picea abis* (RINN et al., 1994 citados por LIMA et al., 2007). O aparelho registra o perfil diametral de variação da madeira, portanto fornece uma estimativa da variação da densidade da madeira. A utilização do *Resistograph*® na madeira é bastante ampla, seja na avaliação do estado de sanidade da árvore, no estado de conservação da madeira, em programas de seleção de árvores baseado na densidade ou dureza ou ainda na avaliação de anéis de crescimento (TOMAZELLO FILHO, 1999 citado por LIMA et al., 2006).

Segundo Lima et al. (2006), “o *Resistograph*® apresenta algumas vantagens sobre outros aparelhos estimadores de densidade em árvores vivas (como *Pilodyn*, por exemplo): (i) Os resultados do *Resistograph*® não têm seus valores modificados caso as medições sejam realizadas por diferentes operadores; (ii) Não exige a retirada da casca; (iii) Permite obter leituras de casca a casca; (iv) Fornece medidas de diâmetro com e sem casca; (v) É portátil e de fácil manuseio. Além disso, o *Resistograph*® pode detectar possíveis variações da densidade relativa, de cerne e alburno e de madeira juvenil e adulta. Em contrapartida, algumas desvantagens podem ser observadas e são inerentes ao equipamento: (i) Ventos podem fazer com que a árvore se desloque e ocasione o desequilíbrio das tensões de crescimento ao longo do fuste. Tal situação pode influenciar os resultados do equipamento; (ii) Baixa autonomia da bateria que acompanha o aparelho; (iii) O equipamento tem seu desempenho afetado quando penetra árvores de altas densidades”

Estudos desenvolvidos no Brasil por Couto (2011), Gouvêa et al. (2011) e Lima et al. (2006, 2007), têm utilizado o resistógrafo® para estimar a

densidade básica em várias espécies do genero *Eucalyptus* e de maneira geral os resultados mostraram o equipamento adequado para a estimativa da densidade da madeira, obtendo correlações altas entre a densidade básica da madeira e a Amplitude registrada pelo aparelho.

2.5.3 Pilodyn ®

Segundo Hansen (2000), o Pilodyn® é uma ferramenta portátil originalmente desenvolvida na Suíça para a determinação do grau de podridão em postes de madeira, funciona por meio da injeção de um pino de 25 mm por meio de aplicação de uma força necessária para dentro da árvore, sendo a profundidade alcançada pelo pino registrada em uma escala lateral, essa profundidade é inversamente proporcional à densidade da madeira. Dentre as vantagens do equipamento estão a facilidade e rapidez de utilização no campo, ser não destrutivo, ajustável a um grande número de amostras e proporcionar poucos danos à árvore (DOWNES et al., 1997 citados por LIMA et al., 2006). Entre as desvantagens têm-se que o pino penetra de maneira superficial os anéis mais externos do tronco, superestimando consequentemente a densidade já que registra a madeira mais madura próxima à casca (HANSEN, 2000). Entretanto, Callister e England (2010), estudando a densidade básica em *Eucalyptus* com fins de melhoramento genético, determinaram que o valor da densidade básica da madeira próxima à casca representa melhor a densidade média ponderada da árvore. Nesse sentido, o Pilodyn® se constitui em um bom método indireto e de baixo custo para estimar a densidade básica da madeira. Estudos desenvolvidos no Brasil com Pilodyn® para estimativa da densidade básica por Couto (2011) e Gouvêa (2006), com espécies de *Eucalyptus*, e por Couto (2010), com a espécie seringueira (*Hevea* s.p), encontraram, de maneira geral, médias a baixas correlações com a densidade básica da madeira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O material para o desenvolvimento deste estudo foi proveniente de um plantio experimental de teca (*Tectona grandis* L.f), com 13 nos de idade instalado na fazenda Bom Sucesso, da empresa Votorantim Siderurgia, localizada no município de Vazante, região noroeste do estado de Minas Gerais (Brasil). As coordenadas locais são de 18° 01' 37" de latitude sul e os 46° 51' 21" de longitude oeste. A região encontra-se a uma altitude de 630 metros e possui uma temperatura média compreendida entre 21°C a 24°C. A figura 1 mostra a localização do município de Vazante (MG).

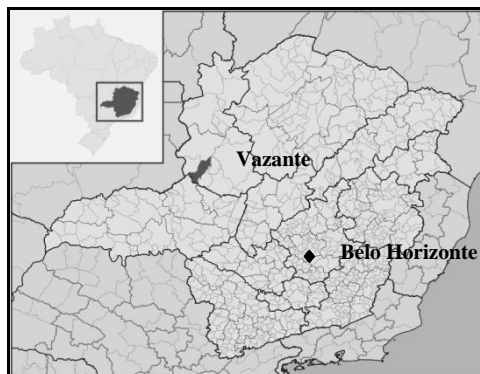


Figura 3 Localização do município de Vazante, estado de Minas Gerais (Brasil).

De acordo com Macedo et al.(2005), a região tem um clima tropical úmido de savana caracterizado por possuir inverno seco e verão chuvoso com média mensal de precipitação de 1400 mm ano⁻¹. O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. O plantio foi instalado com mudas de sementes provenientes do estado de Mato Grosso. Conforme o descrito por Macedo et al. (2005), o plantio foi realizado em camalhões de 40 cm de altura,

em covas com bacia para favorecer a captação de água e foram adubadas com 100 gramas de formulação NPK 6-30-6. Houve irrigação somente no ato do plantio, os demais tratos culturais (adubação, tutoramento, controle de plantas invasoras, desbrota e desrama) foram realizados nos primeiros anos da plantação. O experimento foi instalado em dois espaçamentos (3 x 2 metros e 3 x 3 metros).

3.2 Material biológico

Foram utilizadas nove árvores selecionadas aleatoriamente no plantio, inicialmente foi realizada a avaliação não destrutiva nas árvores vivas e destrutiva na madeira após o abate das árvores. Foram mensuradas as variáveis dendrométricas como o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) e altura total (HT).



Figura 4 Plantio de teca (*Tectona grandis* L.f) na região de Vazante-MG.

3.3. Amostragem não destrutiva

Foi realizada a avaliação não destrutiva usando os equipamentos Extensômetro, Resistógraph® e Pilodyn® nas árvores em pé. Todos os equipamentos foram utilizados na altura do DAP.

3.3.1 Extensômetro

Para a medição da Deformação Residual Longitudinal (DRL) nas árvores de teca em pé, foram obtidas quatro leituras por árvore com o extensômetro em quatro pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste) a altura do DAP como mostra a Figura 5.

3.3.2 Resistograph®

Foram feitas duas leituras por árvore a altura do DAP, sendo uma na direção norte-sul, e outra na direção leste-oeste, de acordo com a direção do plantio, utilizando o Resistograph® IML RESIF-400-S (Figura 6) para a determinação da amplitude.

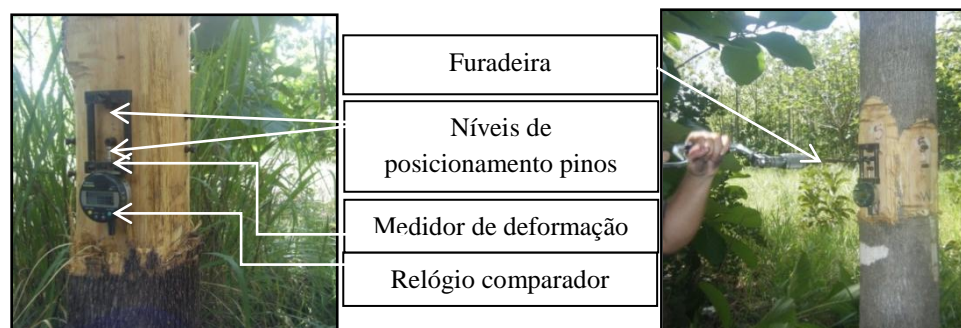


Figura 5 Extensômetro, medidor da deformação residual longitudinal DRL.



Figura 6 Detalhe do Resistograph® para avaliação não destrutiva na teca.

3.3.3 Pilodyn®

As árvores foram aneladas para a formação do painel de medição e foram realizadas 4 leituras por árvore com o Pilodyn® nos pontos norte, sul, leste e oeste, de acordo com a direção do plantio (Figura 7).



Figura 7 Aparelho Pilodyn® para avaliação não destrutiva na teca.

3.4 Amostragem destrutiva

Após a avaliação não destrutiva, as árvores foram derrubadas e o fuste foi subdividido em toras de 2,6 m de comprimento, as quais foram transportadas para o Laboratório de Ciência e Tecnologia da madeira da Universidade Federal de Lavras para a caracterização tecnológica da madeira.

De cada tora foram retirados discos de 5 cm de espessura nas extremidades, como mostra a figura 8. De cada disco foram obtidas quatro cunhas passando pela medula, sendo duas cunhas opostas utilizadas para a determinação da densidade básica e as outras duas para a determinação das propriedades químicas e anatômicas da madeira. Para a determinação da proporção de cerne e albúrnio foram utilizados os discos das duas primeiras toras (Toras 1 e 2) como mostra a Figura 8, para a reprodutibilidade e determinação das propriedades mecânicas foram confeccionados corpos de prova provenientes das mesmas toras.

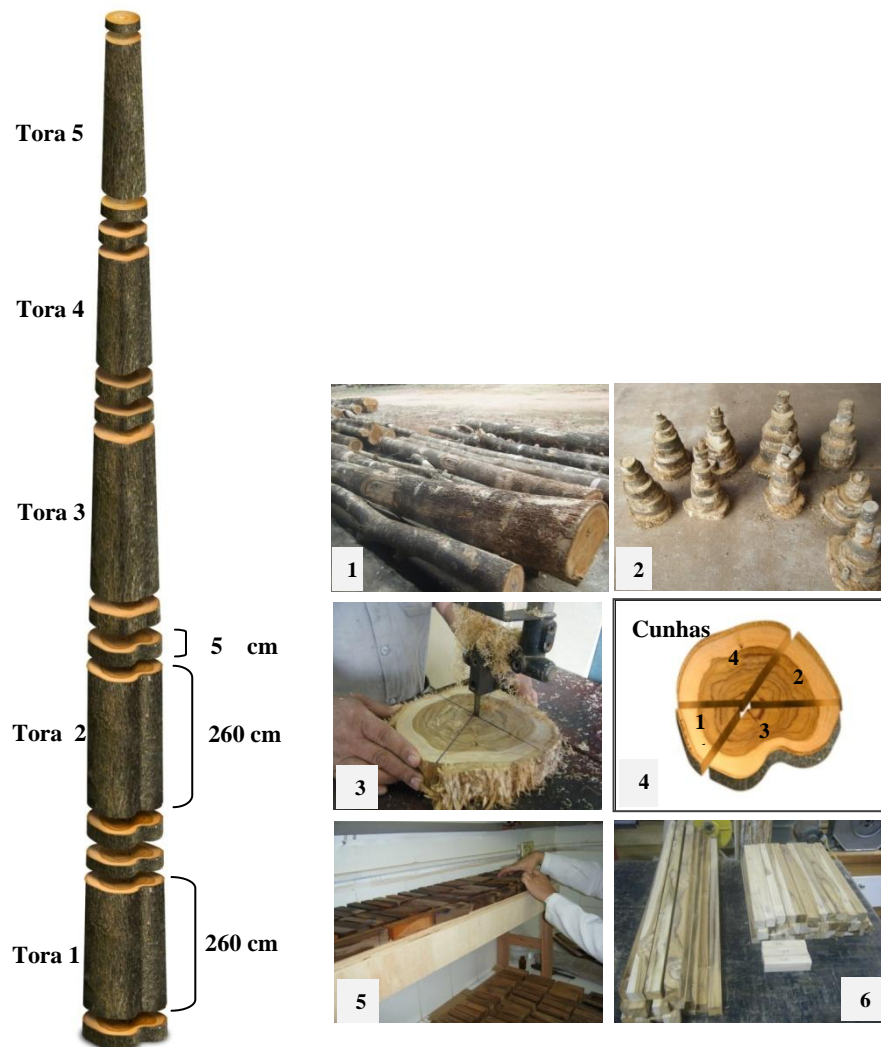


Figura 8 Sequência de amostragem longitudinal nas árvores de teca: 1) Toras de 2,6 metros de comprimento; 2) Discos tirados das extremidades das toras; 3) Confecção de cunhas; 4) Cunhas 1 e 2 destinadas a densidade básica e cunhas 3 e 4 para análise química e anatômica; 5) Corpos-de-prova para retratibilidade; 6) Corpos-de-prova para ensaios mecânicos.

3.5 Determinação das propriedades da madeira

3.5.1 Variáveis dendrométricas, proporção de cerne e alborno e excentricidade da medula na madeira de teca

As toras obtidas de todas as árvores foram submetidas a cubagem rigorosa e calculado o volume sem casca (V_{sc}) pelo método de Smalian conforme a equação:

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{D^2 + d^2}{2} \right) \times l$$

Em que:

V_{sc} = Volume sem casca da seção do tronco (m^3);

π = 3,1416;

D = Diâmetro sem casca da base da tora (m);

d = Diâmetro sem casca do topo da tora (m);

l = Comprimento da tora (m).

A porcentagem de casca foi determinada mediante a equação:

$$\% \text{ Casca} = \frac{V_{cc} - V_{sc}}{V_{cc}} \times 100$$

Onde,

V_{cc} = Volume com casca (m^3);

V_{sc} = Volume sem casca (m^3).

Os discos retirados das extremidades das toras 1 e 2 foram submetidos a polimento e posteriormente fotografados com câmara digital de 10 megapixels com o auxílio de aparelho específico para a captura de fotografias da madeira e com ajuda de uma régua para futura calibração no programa de medição. As imagens obtidas foram processadas em Auto CAD 2007, delimitando a área de casca, cerne e albúrneo por diferença de cor, considerando que o cerne difere do albúrneo por este apresentar uma cor predominantemente mais escura (Figura 9).

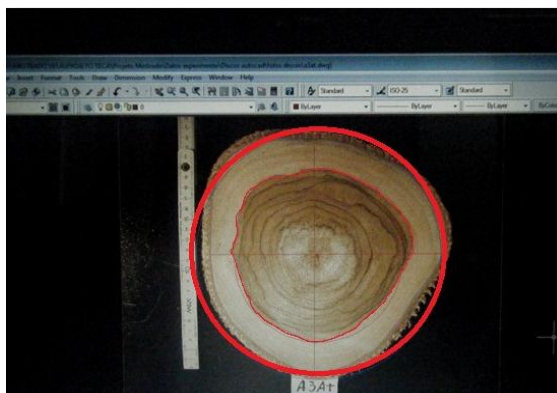


Figura 9 Determinação da proporção de cerne e albúrneo e excentricidade da medula na teca em Auto CAD 2007.

Foi determinada a proporção de cerne e albúrneo em porcentagem e mediante a fórmula de Smalian obtido o volume de cerne e albúrneo nas duas primeiras toras nas árvores amostradas. Também foi determinado o centro geométrico de cada disco e obtida a distância até a medula, com a finalidade de calcular a sua excentricidade. A excentricidade da medula foi determinada de acordo com a seguinte equação:

$$EM = \frac{Lc}{dm} \times 100$$

Em que:

EM = excentricidade da medula (%),

Lc = distância entre o centro geométrico e a posição real da medula (mm) e

dm= diâmetro médio do disco (mm).

3.5.2 Densidade básica e aparente da madeira

A densidade básica da madeira foi determinada conforme o procedimento adaptado descrito na norma D2395-93 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 1997b), as cunhas obtidas dos discos das extremidades de todas as toras amostradas foram subdivididas em corpos de prova e saturadas em água. O volume dos corpos de prova foi obtido pelo método da imersão em água. Após determinado os volume, os corpos de prova foram levados à estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. A densidade básica foi obtida pela razão entre a massa seca e o volume verde. Foram obtidos valores de densidade básica e calculada a densidade média ponderada da árvore considerando o volume da cada tora. De igual forma foi obtida a densidade aparente considerando uma umidade de equilíbrio de 12%.

3.5.3 Retratibilidade

Para a determinação das contrações da madeira foi utilizada a norma americana D143-94 da ASTM (1997a), a qual estabelece que as dimensões lineares sejam tomadas diretamente no corpo de prova, o que simplifica a

metodologia, sendo que as dimensões dos mesmos foram de 2,5 x 2,5 x 10 cm livres de defeitos e perfeitamente orientados. Foram determinadas as contrações lineares, no sentido radial e tangencial, e a volumétrica em duas condições de umidade, ou seja, na condição de equilíbrio (aproximadamente 12% de umidade) e absolutamente seca. Também foi obtido o coeficiente de anisotropia. As medições das dimensões lineares foram feitas com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm.

Os valores das contrações foram determinados pelas seguintes equações:

$$\text{Contração linear (\%)} \quad \beta = \frac{D_v - D_s}{D_v} \times 100$$

$$\text{Contração volumétrica (\%)} \quad \beta_v = \frac{V_v - V_s}{V_v} \times 100$$

$$\text{Coeficiente de anisotropia (\%)} \quad A = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

Onde:

D_v = Dimensão linear na condição de volume verde ou saturado (cm)

D_s =Dimensão linear na condição seca (cm)

V_v = Volume verde ou saturado em cm^3

V_s = Volume da amostra em condição seca em cm^3

β = Contração linear tangencial (β_t) ou radial (β_r) %

A = Coeficiente de anisotropia

3.5.4 Caracterização química da madeira

A preparação do material para análise química consistiu na obtenção de maravalhas com plaina elétrica a partir das cunhas opostas obtidas das toras. O material foi climatizado até estabilização da umidade, moído em moinho tipo

Willey e a serragem obtida foi peneirada em peneiras de malha de 40 para 60 mesh. Após a classificação da serragem, o material foi condicionado em ambiente climatizado e armazenado. As características químicas mensuradas e as normas utilizadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Análises químicas da madeira de teca.

Característica	Metodologia
Extrativos	ABTCP (1974) M 3/69
Lignina	ABTCP (1974) M10/71
Cinzas	ABTCP (1974) M 11/77
Holocelulose	100 – Extrativos – Lignina – Cinzas

Fonte: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP (1974)

3.5.5 Caracterização elementar e energética da madeira

Foram determinados os componentes químicos elementares da madeira em analisador elementar Vario Micro Cube a partir de dois miligramas de serragem com granulometria entre 200 e 270 mesh. O poder Calorífico superior foi determinado em calorímetro marca IKA® C -200 a partir da norma NBR 8633 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1983). A granulometria utilizada foi a mesma usada para a determinação da composição química.

3.5.6 Características anatômicas

Do disco de cada árvore na posição do DAP foram retirados fragmentos de madeira para mensuração dos elementos celulares de acordo com o método de Franklin (1945). Frações de madeira foram colocadas em frascos com solução

de ácido acético (CH_3COOH) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em proporção de 1:1 (v/v). O material entrou em contato com a solução por um período de 24 horas em estufa a temperatura de 60°C , sendo lavado, posteriormente com água destilada em abundância, para a retirada completa da solução macerante. Foi adicionada safranina hidroalcoólica no macerado, juntamente com água na proporção 6:1 (v/v) para facilitar a visualização dos elementos da madeira. Foram montadas lâminas temporárias para a visualização microscópica das fibras. Todo procedimento foi realizado segundo as normas estabelecidas pela International Association of Wood Anatomist - IAWA (1989). Foram mensuradas 50 fibras por árvore para determinação do comprimento da fibra sobre fotografias digitais obtidas por meio do microscópio óptico “Olympus BX 41” com aumento de 10x e acopladas ao sistema de análise de imagem “Win Cell”. Este mesmo procedimento foi usado para o comprimento de vaso (10x) e para a espessura da parede celular foi utilizado aumento de 40x.

3.5.7 Propriedades mecânicas

Foram realizados ensaios mecânicos para a determinação das seguintes propriedades: 1) Na compressão paralela às fibras; Módulo de Elasticidade (MOE) em kgf/cm^2 e Resistência máxima (Res. Max) em kgf/cm^2 . 2) Na flexão estática: Módulo de Elasticidade (MOE) em kgf/cm^2 e Módulo de Ruptura (MOR) em kgf/cm^2 e; 3) Dureza Janka em Kg. Os corpos de prova foram acondicionados à temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$. Foram utilizados corpos de prova livres de defeitos. Na Tabela 2 estão descritas as condições em que foram realizados os ensaios mecânicos, a dimensão dos corpos de prova, o número de corpos de prova utilizados e a norma considerada.

Os ensaios foram realizados na Máquina Universal de Ensaios DL 30000 MF EMIC, com capacidade de 30 toneladas e com célula de carga de

10.000 kg para o ensaio de compressão e de 2000 kg para os ensaios de flexão e dureza. As especificações dos testes foram as seguintes: Na compressão paralela velocidade de ensaio 0,3 mm/min, na flexão estática velocidade de ensaio de 1,3 mm/min e distância entre apoios 360 mm e na dureza Janka velocidade de ensaio 0,06mm/min.

Tabela 2 Especificações dos ensaios mecânicos.

Ensaio	Dimensão do corpo de prova (mm)	Repetições	Norma
Flexão estática	25 x 25 x 410	169	ASTM D143-93
Compressão paralela	25x 25 X 100	330	ASTM D143-93
Dureza Janka	20 x 20 x 100	132	BSI 323/1957

British Standards Institution - BSI (1957)

3.6 Análises estatísticas

Na avaliação do experimento foi utilizada estatística descritiva com as correspondentes medidas de variação dos dados, considerando as árvores como repetições. Para a determinação das correlações entre as características da madeira, a avaliação não destrutiva e a densidade básica da madeira foi utilizado o programa estatístico SAEG visando estabelecer a relação entre as variáveis estudadas na madeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação não destrutiva da madeira

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios, máximo, mínimos e coeficiente de variação CV(%) para as características não destrutivas mensuradas nas árvores de teca em cada um dos espaçamentos.

Tabela 3 Valores médios dos ensaios não destrutivos na madeira de teca.

Característica	N	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão	CV(%)
DRL (mm)	9	0,047	0,077	0,023	0,016	34,58
Amplitude (%)	9	13,34	22,14	9,72	4,13	30,96
Pilodyn® (mm)	9	12,11	13,50	11,13	0,68	5,60

N= Número de amostras, DRL=Deformação residual longitudinal, CV=Coefficiente de variação.

Observa-se que os valores de CV para a deformação residual longitudinal DRL (mm) e a amplitude (%) foram altos. Este fato está associado a fatores de variações entre as árvores da mesma espécie considerando que não são clones. Já para os valores da profundidade de penetração do pino do Pilodyn® o CV apresentou-se mais baixo.

O valor médio obtido para a DRL foi de 0,047 mm, esse valor foi consideravelmente mais baixo do que o encontrado por Lima (2004), em clones de *Eucalyptus* de 8,5 a 15 anos de idade, com média de 0,079 mm, e de acordo com Trugilho et al. (2006), de 0,093 mm, em clones do gênero *Eucalyptus* aos 10,5 anos. Diante dos resultados sugere-se que a espécie teca é menos suscetível a tensões de crescimento que afetam a qualidade da madeira para desdobro em

serraria. A Figura 10 ilustra a distribuição periférica média da deformação residual longitudinal (DRL) das árvores de teca, é possível verificar que existe uma tendência de uma maior tensão de crescimento na direção sudoeste. Este comportamento pode estar associado à direção de ventos dominantes, fatores associados ao solo entre outros.

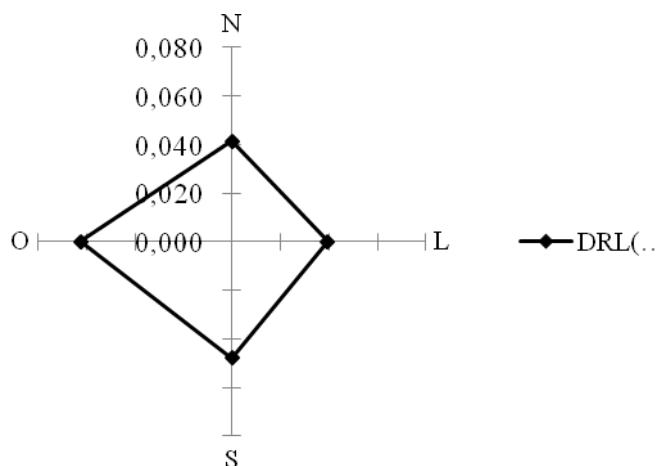


Figura 10 Distribuição da tensão periférica de crescimento longitudinal da madeira de teca.

A média geral da profundidade à penetração com Pilodyn® foi de 12,11 mm, similar ao encontrado por Couto (2011) em espécies do gênero *Eucalyptus* aos 54 meses de idade com valor médio de 12,25 mm.

O valor médio de amplitude de resistência encontrado na teca (Tabela 3) foi semelhante ao encontrado por Lima et al. (2006), com média de 13,66% para espécies do gênero *Eucalyptus* com sete anos de idade e por Couto (2011) para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 54 meses de idade, com médias de 11,77 % e 12,99 % respectivamente. Já Lima et al. (2007) determinaram uma amplitude média de 24% para clones de *Eucalyptus* aos 16 anos de idade. Couto (2011), em seringueira, encontrou já uma amplitude mais baixa em média de

10,52 (%). A figura 11 ilustra um resistograma da madeira da teca, obtida a partir dos dados da amplitude medida com o equipamento Resistógraph®, onde se observa o perfil diametral da madeira. Observa-se a redução da amplitude da região central do caule, a qual pode estar associada à presença da medula, um aumento da resistência à perfuração (*Amplitude*) e é decorrente das variações da estrutura da madeira ao longo da seção diametral medida com o aparelho.

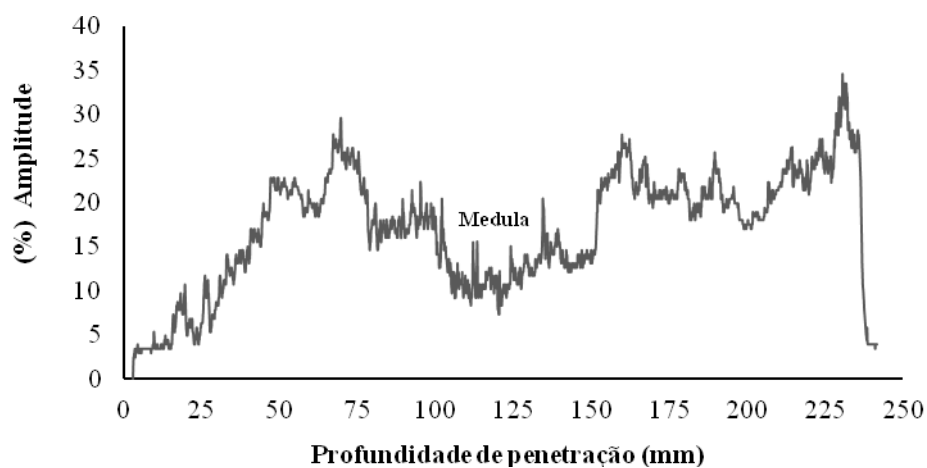


Figura 11 Exemplo da amplitude medida ao longo da seção diametral da árvore de teca.

4.2 Variáveis dendrométricas

Observam-se na tabela 4 os valores das variáveis, diâmetro à altura do peito (DAP), volume com casca (Vcc), volume sem casca (Vsc) e porcentagem de casca das árvores de teca avaliadas.

Tabela 4 Valores médios das variáveis dendrométricas mensuradas nas árvores de teca.

Característica	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV(%)
DAP (m)	0,204	0,271	0,172	0,028	13,15
Ht(m)	12,49	13,40	9,60	1,166	9,33
Vcc (m ³)	0,160	0,277	0,116	0,048	28,14
Vsc (m ³)	0,132	0,234	0,089	0,042	29,82
Casca (%)	16,92	23,81	14,79	2,741	15,15

DAP= Diâmetro à altura do peito, Ht= Altura total, Vcc= Volume com casca, Vsc = Volume sem casca, Dp=Desvio padrão, CV=Coeficiente de variação

Os valores das variáveis dendrométricas da teca encontram-se similares se comparados aos encontrados em povoamentos da mesma idade em outros locais de plantio, por exemplo, estudos desenvolvidos por Perez e Kanninen (2003), com teca jovem de vários locais e idades na Costa Rica encontraram árvores em espaçamento 3 x 2 metros com valores de 0,15 a 0,20 m³ por árvore. Em plantio de teca no estado de Rondônia (Brasil) aos 8 anos e em espaçamento 3 x 4 metros, o volume médio por árvore foi de 0,21 m³ (VIEIRA et al., 2008). Pela tabela 4 observa-se que a porcentagem média de casca foi de 16,92 % do total do volume dos troncos das árvores de teca, considera-se uma porcentagem alta a qual é uma característica importante da teca que lhe confere proteção e resistência ao fogo. Perez e Kanninen (2003) encontraram porcentagens de casca de 20% para árvores entre 10 e 15 anos de idade, de maneira geral a tendência é uma diminuição da casca com o aumento da idade das árvores. Pode-se também observar, na tabela 4, que os coeficientes de variação associados ao volume podem ser considerados elevados. Este fato pode estar associado ao fator genético, uma vez que as árvores foram originadas de plantio por semente.

4.3 Proporção de cerne e albarno e excentricidade da medula na madeira de teca

A proporção média de cerne foi de 51,44 % do volume sem casca das duas primeiras toras das árvores de teca. Esse valor foi considerado alto para a idade e procedência do material, pois porcentagens de cerne próximas a 70% sugerem valores comerciais mais altos da madeira que são alcançados em madeira adulta crescendo em locais onde a teca é nativa, já para teca de florestas plantadas são encontrados valores de cerne máximos de 55% aos 30 anos de idade, segundo Perez e Kanninen (2003). Um valor de cerne (44%) para teca de 10 anos de idade foi encontrado por Arce (2001) em árvores na Costa Rica. Rivero e Moya (2006) determinaram uma porcentagem de cerne de 28% para teca de 8 anos de idade na Bolívia. Segundo Perez e Kanninen (2003), a proporção de cerne aumenta logaritmicamente com a idade em decorrência do crescimento em diâmetro. Segundo Kokutse et al. (2004), a quantidade do cerne está relacionada com a idade e as práticas silviculturais. Arce (2001) e Perez e Kaninnen (2003) verificaram que um maior espaçamento pode favorecer mais produção de cerne.

Tabela 5 Valores médios de cerne, albarno e excentricidade da medula na madeira de teca.

Característica	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV%
Albarno (%)	48,56	64,96	33,05	11,38	23,43
Cerne (%)	51,44	66,95	35,04	11,38	22,12
EM (%)	8,98	14,99	4,93	3,47	38,64

EM=Excentricidade da medula, Dp= Desvio padrão. CV=Coefficiente de variação.

A excentricidade da medula (EM) está relacionada com o deslocamento da medula do centro geométrico da árvore e constitui-se em uma forma de avaliar o efeito decorrente das tensões durante o crescimento da árvore. O valor médio encontrado nas árvores de teca avaliadas foi de 8,98%. (Ver tabela 5), valores similares de EM foram encontrados em outras espécies como *Grevílea robusta* (8,35%) e *Corymbia citriodora* (8,52%) segundo Radomski e Ribaski (2010). Monteiro et al. (2010) encontraram para *Eucalyptus pilularis* valores de EM de (16,67%) para *E. urophylla*, (8,39%), em *E. camaldulensis* (4,26%) e *E. maculata* (6,98%) em árvores com 32 anos de idade. Ferreira et al. (2008), avaliando clones de (*Eucalyptus* sp.) com dois anos de idade, encontraram valores mais baixos de EM (2,55 a 4,55%).

Akachuku e Abolarin (1989) determinaram em árvores de teca de 18 anos valores de excentricidade da medula entre 13% e 15%. O valor encontrado de EM, neste estudo, foi mais baixo do que o normalmente reportado na literatura e concordante com o valor baixo de DRL para a espécie teca, que em teoria relacionam-se diretamente com as tensões de crescimento. De maneira geral, valores de excentricidade altos sugerem a presença de lenho de tração (FERREIRA et al., 2008; SIMPSON; TENWOLDE, 1999). Akachuku e Abolarin (1989) afirmaram que essa condição está relacionada com fatores como a declividade do terreno, efeito do vento, além dos fatores genéticos. Em teoria, toras com altos valores de excentricidade da medula são mais propensas a defeitos no desdobro como empenamentos, formação de fendas circulares e apresentar problema no processamento mecânico (GROSSER, 1980 citado por FERREIRA et al., 2008). Akachuku e Abolarin (1989) recomendaram que é necessário realizar mais estudos relacionados a excentricidade da medula e os efeitos no processamento da madeira, mas estima-se que toras com valores de EM superiores a 20 % devem ser rejeitadas.

4.4 Densidade básica e aparente da madeira de teca

A densidade básica é considerada uma das propriedades físicas mais importantes na madeira, já que se relaciona diretamente com outras propriedades como a resistência mecânica e a estabilidade dimensional. O valor médio encontrado na teca com 13 anos de idade foi de $0,538 \text{ g/cm}^3$, segundo a classificação da IAWA (1989) e IBAMA (2001), a teca caracteriza-se por ter uma densidade média. Já na classificação do United States Forest Products Laboratory (1974), a densidade da teca encontra-se como madeira pesada em uma faixa de $0,50 \text{ g/cm}^3$ a $0,6 \text{ g/cm}^3$. A tabela 6 mostra os valores médios para a densidade básica na madeira de teca para cada um dos espaçamentos avaliados.

Tabela 6 Valores médios e coeficiente de variação para o valor da densidade básica na madeira de teca.

Característica	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV (%)
DB media (g/cm^3)	0,527	0,574	0,499	0,024	4,50
DB ponderada (g/cm^3)	0,538	0,589	0,502	0,028	5,25
DA g/cm^3	0,540	0,613	0,504	0,033	6,16

Db= Densidade básica, DA=Densidade aparente a 10% umidade, Dp= Desvio padrão. CV=Coefficiente de variação.

O valor médio de densidade básica foi similar ao encontrado em várias plantações na América latina, por exemplo, na Costa Rica. Moya e Arce (2003) determinaram um valor de $0,538 \text{ g/cm}^3$ em árvores de teca de 10 anos. Valero, Reyes e Garay (2005) encontraram valores para teca de 20 anos no estado de Barinas na Venezuela de $0,55 \text{ g/cm}^3$. Rivero e Moya (2006) determinaram uma densidade básica de $0,50 \text{ g/cm}^3$ em teca de 8 anos na Bolívia. Betancour, Herrera e Mejía (2000) encontraram uma densidade básica de $0,55 \text{ g/cm}^3$ para madeira

de 13 anos de idade crescendo na Colômbia. Já no Brasil são escassos os estudos de propriedades tecnológicas da madeira de teca, mas, estudos recentes realizados por Lima et al. (2006) determinaram para teca de 31 anos de idade no estado de São Paulo (Brasil) um valor de $0,55 \text{ g/cm}^3$ para a densidade básica da madeira. Izekeor, Fuwape e Oluyeye (2010) determinaram para teca de 15 anos uma densidade básica de $0,48 \text{ g/cm}^3$ na Nigéria.

Consequentemente, o valor da densidade básica determinado neste estudo foi mais baixo do que o encontrado em áreas de florestas plantadas de 50 a 80 anos de idade. Por exemplo, Miranda, Souza e Pereira (2011) determinaram $0,60 \text{ g/cm}^3$ para teca de 50 a 80 anos de idade ocorrente no Timor Leste (Ásia), resultado esperado considerando que o valor da densidade básica tende a aumentar com a idade da árvore, valores similares foram encontrados em Indonésia-Java ($0,69 \text{ g/cm}^3$), Tailândia ($0,62 \text{ g/cm}^3$), Mianmar ($0,70 \text{ g/cm}^3$), Togo ($0,57 \text{ g/cm}^3$ a $0,82 \text{ g/cm}^3$) (BAILLÈRES; DURAND, 2000) e Índia ($0,56 \text{ g/cm}^3$) (BHAT; PRIYA; RUGMINI, 2001). O comportamento da densidade com relação à altura da árvore é uma das características principais que está diretamente relacionada ao seu crescimento. Observa-se na figura 14 a tendência de variação longitudinal da densidade básica da árvore. Valores mais altos de densidade básica são encontrados na base da árvore tornando-se decrescente até o topo, embora desuniformemente e com leve acréscimo, padrão de variação similar ao descrito por Panshin e Zeeuw (1970). Moya e Arce (2003) encontraram uma diminuição da densidade básica na parte média do tronco das árvores. Pérez e Kanninen (2005) encontraram que a densidade básica é maior na base da árvore que a altura onde inicia a copa.

De modo geral, a densidade básica de madeira é uma das propriedades que reflete melhor as demais propriedades da madeira, porém deve se considerar fatores como a formação da madeira juvenil que no caso da madeira jovem de teca é um fator que influencia diretamente no seu comportamento (BHAT;

PRIYA; RUGMINI, 2001). O padrão de comportamento longitudinal encontrado na teca foi similar ao determinado para a variação base-topo da porcentagem de cerne, indicando que um aumento da porcentagem de cerne reflete em um aumento da densidade básica da madeira. (Ver figura 12).

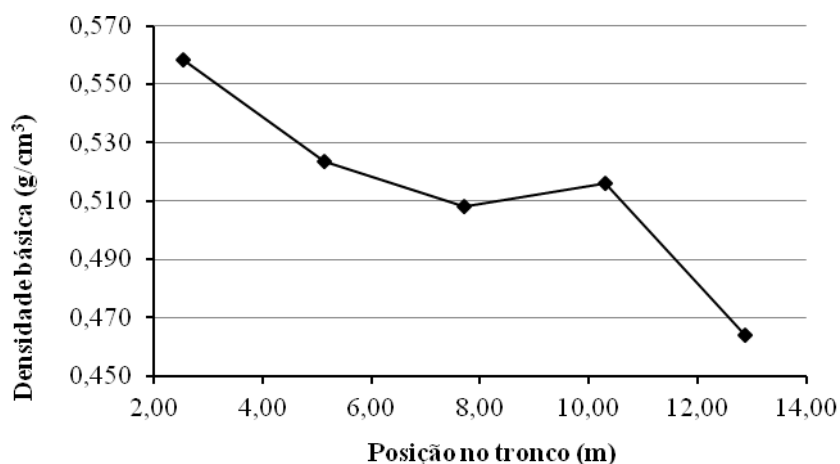


Figura 12 Variação longitudinal da densidade básica na madeira de teca.

4.5 Retratibilidade

Os valores das contrações totais radial, tangencial e volumétrica determinadas na madeira de teca foram de 2,40% 4,21% e 6,84% respectivamente, o coeficiente de anisotropia foi de 1,82. Na tabela 7 são apresentados os valores médios, máximos e mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação para as contrações totais e a 12% de umidade determinadas na madeira de teca.

Tabela 7 Valores médios da retratibilidade na madeira de teca.

Contrações a 12% umidade	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV (%)
Radial (%)	1,17	1,45	0,85	0,21	18,42
Tangencial (%)	2,30	2,88	1,59	0,42	18,36
Volumetrica(%)	3,57	4,24	2,66	0,57	16,03
CT/CR					
Contrações totais (condição verde a seca)	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV (%)
Radial (%)	2,40	2,88	1,86	0,34	14,32
Tangencial (%)	4,21	5,18	3,39	0,69	16,34
Volumetrica(%)	6,84	8,01	5,76	0,90	13,18
CT/CR	1,82	2,03	1,65	0,16	8,89

CT/CR= Coeficiente de anisotropia, Dp=Desvio padrão, CV=Coeficiente de variação.

Os valores corroboram uma das principais propriedades na madeira de teca que é a sua boa estabilidade dimensional quando comparada com outras espécies como o eucalipto, cujas contrações volumétricas atingem valores bem superiores a 12%. Valores encontrados para teca de 17 anos na Costa Rica para a contração radial de 2,2%, tangencial de 3,9%, volumétrica de 6,2 % e coeficiente de anisotropia de 1,8 foram determinados por Castro (2000). Em Timor Leste, Miranda, Souza e Pereira (2011) obtiveram valores de 3,6%, 5,17% e 7,6% para as contrações radial, tangencial e volumétrica respectivamente. Valero, Reyes e Garay (2005) encontraram para teca de 20 anos, proveniente do estado de Barinas na Venezuela, valores de 2,48% (Contração radial), 3,37% (Contração tangencial) e 6,18% (Contração volumétrica) e 1,45 de coeficiente de anisotropia. Observando estes valores é notório que as diferenças foram mínimas quando comparadas com diversos estudos de outras procedências. Na figura 13 é possível observar

comparativamente o aumento das contrações desde a condição verde, passando pela condição de equilíbrio, até a madeira estar completamente seca.

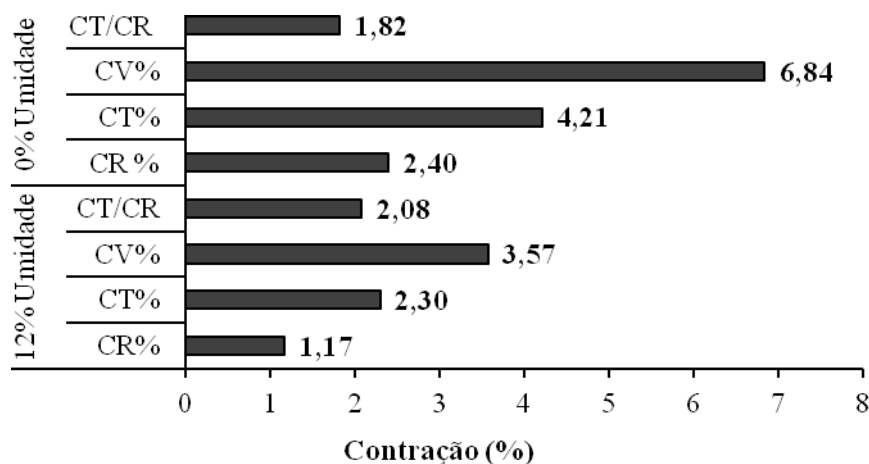


Figura 13 Valores médios da retratibilidade da madeira de teca a 12% e 0% de umidade.

4.6 Composição química da madeira

Na tabela 8 estão apresentados os valores médios dos componentes químicos determinados na madeira de teca. Os valores médios encontrados foram 57,94% de holocelulose, 32,47%, de lignina, 8,94% de extrativos e 0,70% de cinzas.

Tabela 8 Valores médios da composição química da madeira de teca.

Característica	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV (%)
Holocelulose (%)	57,94	60,39	52,53	2,475	4,272
Lignina (%)	32,47	34,09	31,65	0,712	2,191
Extrativos(%)	8,943	12,40	6,78	1,813	20,269
Cinzas (%)	0,64	0,98	0,43	0,170	26,462

Dp=Desvio padrão, CV=Coefficiente de variação.

Destaca-se neste estudo que a madeira de teca apresentou um valor de extrativos similar a valores encontrados em outros estudos em plantações de maior idade, fato que pode estar associado com a durabilidade natural da madeira. Miranda, Souza e Pereira (2011) encontraram valores de extrativos de 9,2 % em teca de 50 a 70 anos plantada em Timor Leste. Windeisen, Klassen e Wegener (2003), estudando a composição química da teca em plantações de 30 anos no Panamá, encontraram valores que variam de 4% a 8%. Thulasidas e Bhat (2009), em teca na província de Kerala-Índia determinaram um valor de 13,31% de extrativos para madeira de 35 anos. Haupt et al. (2003), avaliando a durabilidade natural em plantios de teca de 29 anos em Mianmar, determinaram valores de extrativos de 8,8% a 9,4%. No mesmo estudo menciona-se que o teor de extrativos na madeira de teca proveniente de florestas naturais em Mianmar foi bem superior a 14,1%, assim como em Indonésia-Java o teor médio de extrativos foi de 17,7% e na Tailândia de 12,9% (BAILLÈRES; DURAND, 2000). Vários autores ressaltam a importância do conteúdo de extrativos na durabilidade natural da madeira de teca, que está relacionado a quantidade de tectoquinona, substância de origem aromática presente em algumas espécies de verbenáceas, que confere propriedades antifúngicas, bactericidas e repelentes ao ataque de insetos (HAUPT et al., 2003; WINDEISEN; KLASSEN; WEGENER, 2003).

Com relação ao teor de lignina da madeira de teca considera-se alto se comparado com outras espécies de folhosas, já que de maneira geral o teor de lignina pode estar entre $28\% \pm 2$ para coníferas e 20 ± 4 para folhosas (FENGEL; WEGENER, 1989; MILLER, 1999). Segundo Windeisen, Klassen e Wegener (2003), o teor de lignina para teca no Panamá foi de 34,95%, apresentando um valor mais alto no cerne. O teor de holocelulose (celulose + hemiceluloses), que constitui os componentes majoritários das madeiras, sendo geralmente em maior proporção nas folhosas que nas coníferas, está de acordo

com Windeisen, Klassen e Wegener (2003), que encontraram valor de 55% para os polissacarídeos na teca em plantações no Panamá. O teor de cinzas da teca encontrado está de acordo com valores reportados na literatura, que de modo geral varia na madeira na faixa de 0,2% a 1,0%. Os componentes inorgânicos mais abundantes encontrados são cálcio (Ca), potássio (K), e magnésio (Mg) , embora na teca o teor de sílica apresente especial importância no que diz respeito ao processamento da madeira.

4.7 Composição elementar e poder calorífico superior

Os valores médios dos componentes elementares determinados na madeira de teca estão apresentados na tabela 9. Estes valores estão de acordo com os normalmente encontrados na madeira de folhosas.

Tabela 9 Composição elementar e poder calorífico superior na madeira de teca.

	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV (%)
N %	0,60	0,87	0,44	0,13	21,76
C %	47,63	50,45	44,97	1,63	3,43
H %	6,42	7,19	6,00	0,41	6,41
O %	45,33	47,42	41,89	1,77	3,91
PCS cal/g,	4765,8	4787,0	4742,0	13,3	0,3

N=Teor de nitrogênio, C=Teor de carbono, H=Teor de hidrogênio, O= Teor de oxigênio, PCS=Poder calorífico superior, Dp=Desvio padrão, CV=Coefficiente de variação.

O poder calorífico obtido foi superior ao normalmente encontrado para a madeira de folhosas. Os resultados mostram uma capacidade alta da madeira de teca para a geração de energia, especialmente das partes da árvore que normalmente não são destinadas ao processamento mecânico, além dos resíduos

dessa atividade. Na figura 14 mostra-se o comportamento calórico da madeira de teca quanto comparado com espécies de eucalipto plantadas no Brasil.

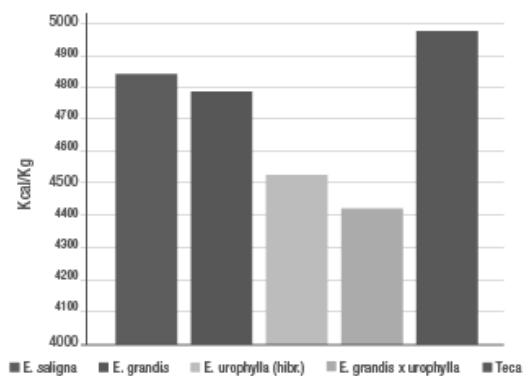


Figura 14 Potencial de geração de biomassa na teca (BIOMASSA, 2012).

4.8 Elementos celulares

A tabela 10 mostra os valores médios para o comprimento do vaso, comprimento, largura e espessura da parede da fibra mensurados na madeira de teca.

Tabela 10 Valores médios para os elementos celulares da madeira de teca.

	Comprimento Vaso (μm)	Fibra		
		Espessura Parede (μm)	Comprimento (mm)	Largura (μm)
N	270	450	450	450
Média	287,48	4,76	1,09	25,76
Máximo	329,64	5,42	1,20	27,96
Mínimo	235,97	4,35	0,97	22,84
Dp	65,03	0,99	0,14	3,90
CV (%)	22,62	20,80	12,84	15,14

N=Número de amostras, Dp=desvio padrão, CV=Coefficiente de variação.

Os valores determinados para os elementos celulares da madeira de teca encontram-se dentro dos valores reportados para madeira de folhosas, porém comparando-os com valores encontrados na literatura são similares aos encontrados para madeira jovem e inferiores a valores registrados para teca adulta. Souza (2010) determinou um comprimento da fibra de 0,99 mm e espessura de parede de 4,66 μm para madeira de 12 anos de idade na região do Mato Grosso (Brasil). Já em teca de 13 anos de idade na Costa Rica, Moya et al. (2009) encontraram valores de 0,7 mm a 1,6 mm e de 3,2 a 5,7 μm para espessura da parede celular. Bhat, Priya e Rugmini (2001), caracterizando madeira juvenil de teca em Kerala- Índia, determinaram um comprimento de fibra variando de 1,10 mm a 1,28 mm. Os mesmos autores, para a madeira madura, encontraram valores médios para o comprimento da fibra de 1,43 mm, indicando que valores mais baixos de comprimento de fibra na madeira podem estar associados à presença de madeira juvenil.

Moya et al. (2009) determinaram que o clima e qualidade de sítio influenciam positivamente o comprimento da fibra, largura da fibra e espessura da parede celular, já para o diâmetro de vaso influenciou negativamente. Bhat, Priya e Rugmini (2001) sugerem que na teca a formação de madeira juvenil dura entre 15 e 25 anos, assim é provável que árvores avaliadas no presente estudo apresentem em sua totalidade madeira juvenil. Na Figura 15 mostram-se os elementos celulares mensurados na madeira de teca.

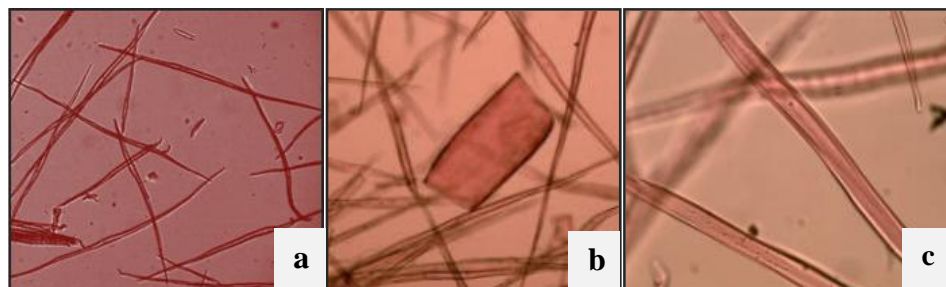


Figura 15 a) Fibras da madeira de teca em aumento 10 x sob microscópio de luz, b) Elemento de vaso da madeira de teca (10x), c) Fibra da madeira de teca (4x) mostrando a espessura da parede celular.

4.9 Propriedades mecânicas

Na Tabela 11 estão apresentados os valores médios, desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximos e mínimos para as propriedades mecânicas determinadas na madeira de teca.

Tabela 11 Valores médios das propriedades mecânicas na madeira de teca.

Característica	N	Média	Máximo	Mínimo	Dp	CV (%)
Flexão estática						
MOE kgf/cm ²	169	133040	151720	108600	16250,8	12,5
MOR kgf/cm ²	169	937	990	937	120,9	13,1
Compressão paralela às fibras						
MOE kgf/cm ²	330	69021	78280	54173	7797,58	13,3
Resistência Máxima kgf/cm ²	330	475	521,05	400,45	48,56	10,4
Dureza	132	451	553,65	392,88	84,51	18,6

N=Número de amostras, MOE=Módulo de elasticidade, MOR=Módulo de ruptura
Dp=desvio padrão, CV=Coeficiente de variação

4.9.1 Valores MOE e MOR na flexão estática

O valor médio encontrado para o MOE na teca foi de 133040 kgf/cm², este valor foi superior ao encontrado por vários autores, por exemplo, Castro (2000), para teca de 17 anos na Costa Rica encontrou um valor de 99600 kgf/cm². Bhat e Priya (2004) determinaram MOE desde 86021 kgf/cm² a 139117 kgf/cm² para idade de 21 e 65 anos respectivamente. No entanto, o valor encontrado foi menor que o determinado por Miranda, Souza e Pereira (2011) com valor de 108944 kgf/cm² para madeira de 50 a 70 anos de idade em Timor Leste. Em Teca de 34 anos plantada no Panamá o valor foi de 144797 Kgf/cm² (POSCH et al., 2004). Com relação ao MOR, o valor encontrado foi superior que o reportado por Castro (2000) de 767 kgf/cm² para madeira de 17 anos, e Bhat e Priya (2004) com valores na faixa de 936 e 1358 kgf/cm² para madeira de 21 a 65 anos respectivamente, e inferior ao valor determinado por Miranda, Souza e Pereira (2011), de 1437 kgf/cm² para teca de 50 a 70 anos e de 10700 kgf/cm² encontrado por Posch et al. (2004) em madeira de 34 anos. Segundo Tsoumis (1991), o MOR mostra os esforços mais elevados nas fibras de madeira mais exteriores quando a viga quebra sob a influência da carga, a qual é aplicada gradualmente durante alguns minutos. De acordo com Pérez e Kanninen (2005), vários estudos têm demonstrado a similaridade entre as propriedades mecânicas da madeira jovem de 21 anos e a madeira de 65 anos o que oferece uma margem para redução da idade de rotação, sem afetar significativamente a resistência da madeira. Isso foi confirmado neste estudo, já que apesar da madeira de teca avaliada ser jovem, a sua resistência mecânica é superior à determinada em estudos de teca de outras idades, a madeira juvenil parece não influenciar o desempenho mecânico da madeira.

Na Figura 16 estão mostrados os tipos de ruptura normalmente observados nos ensaios de flexão estática. Foi apreciável que as rupturas mais

abruptas (Figura 16d) se apresentaram em corpos de prova de madeira mais próxima da medula. Por outro lado, os corpos de prova com maior quantidade de cerne (Figuras 16b e 16c) apresentaram menores fendas de ruptura, e os corpos de prova retirados na zona de transição do cerne para o alburno (Figura 16a) apresentaram fendas mínimas no final do ensaio e foram individualmente valores mais altos de MOR (superiores a 1000 kgf/cm^2). Os tipos de ruptura estão de acordo com os previstos na norma ASTM D143-94.



Figura 16 a, b, c, d - Tipos de ruptura no ensaio de flexão estática.

4.9.2 Valores de resistência na compressão paralela às fibras

O valor médio encontrado na teca para a resistência máxima na compressão foi de 475 kgf/cm^2 . Este valor foi menor que o encontrado por Miranda, Souza e Pereira (2011), em teca de 50 a 70 anos no Timor Leste (509 kgf/cm^2) e Posch et al. (2004) em madeira de 34 anos plantada no Panamá com

valor de 509 kgf/cm² e mais alto do que o encontrado por Castro (2000) de 346 kgf/cm² em teca de 17 anos na Costa Rica. Bhat e Priya (2004), em teca de 21 a 65 anos na Índia determinaram valores de 454 kgf/cm² até 549 kgf/cm² respectivamente para a resistência na compressão paralela às fibras. O módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras foi de 69021 kgf/cm², também foi considerado alto e foi superior ao encontrado por Valero, Reyes e Garay (2005) com um valor de 45000 kgf/cm².

A compressão paralela às fibras é até 15 vezes mais elevada que a compressão transversal, fato que deve-se à disposição no sentido axial das cadeias de celulose que compõem a madeira. A madeira difere de outros materiais porque a sua resistência à compressão é cerca de metade da sua resistência à tração (TSOUMIS, 1991). Na Figura 17 observa-se os tipos de ruptura apresentados nos ensaios de compressão na madeira de teca.



Figura 17 Tipos de ruptura na compressão paralela às fibras.

A fratura da madeira devido à compressão axial pode ser atribuída à ruptura das camadas intercelulares, fendimento ou corte, varejamento ou dobragem das células, e ruptura das paredes celulares (TSOUMIS, 1991). Na

madeira de teca as rupturas devido à compressão foram mínimas e o esmagamento foi quase desprezível, isso verifica que a madeira de teca, apesar da leveza, possui ótimas propriedades de resistência mecânica.

4.9.3 Dureza Janka

Determinou-se um valor médio de 475 kg. Este valor foi ligeiramente inferior aos encontrados para madeira de teca de 17 anos na Costa Rica de 593 kg (CASTRO, 2000). Valero, Reyes e Garay (2005) reportaram valores de dureza de 602 kg a 636 kg em teca de 20 anos na Venezuela. Já Posch et al. (2004) determinaram dureza Brinell de 575 kg em teca de 34 anos. Pode-se sugerir que a dureza da madeira é afetada pela idade da árvore e consequentemente pela densidade da madeira, considerando que trata-se de uma madeira jovem. Na Figura 18 aprecia-se a depressão formada na madeira pela penetração da esfera de aço no ensaio mecânico de dureza Janka.



Figura 18 Tipos de depressão na madeira pelo ensaio de dureza Janka.

4.10 Correlações entre as variáveis estudadas

Com o intuito de estabelecer a relação entre as propriedades tecnológicas determinadas neste trabalho foram obtidas as correlações simples entre todas as características avaliadas na madeira da teca (Tabelas 1A, 2A, 3A, 4A do Anexo). A Tabela 12 apresenta as principais correlações observadas entre a densidade básica e as características avaliadas na madeira de teca.

Tabela 12 Correlações entre as características na madeira de teca.

Correlação entre as propriedades da madeira	Valor Pearson r =
Db vs Pilodyn®	-0,78
Db vs Amplitude	0,61
Db vs DRL	-0,59
Db vs DUR	0,72
Db vs ESPAR	0,81

Db= Densidade básica, DRL= Deformação residual longitudinal, DUR= Dureza, ESPAR= Espessura da parede

As Figuras 19, 20 e 21 mostram a relação funcional entre o Pilodyn®, a amplitude e a DRL com a densidade básica da madeira de teca.

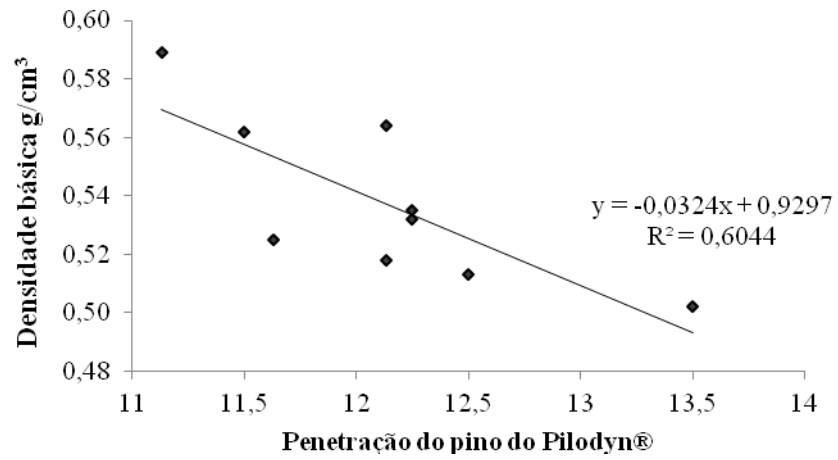


Figura 19 Relação entre a densidade básica e o Pilodyn® para as árvores de teca.

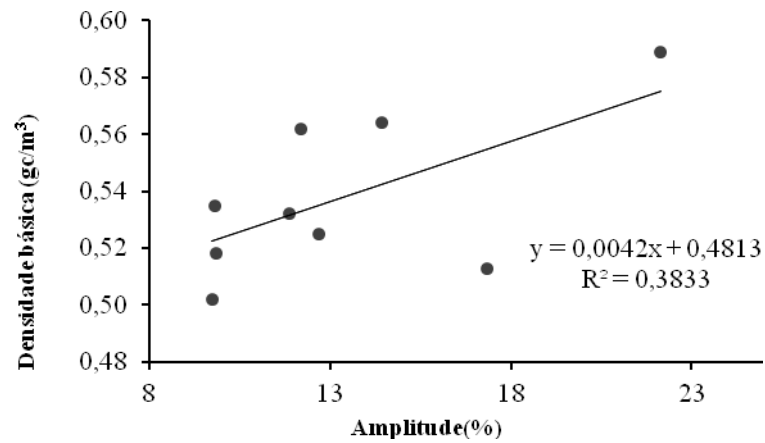


Figura 20 Relação entre a densidade básica e a amplitude para as árvores de teca.

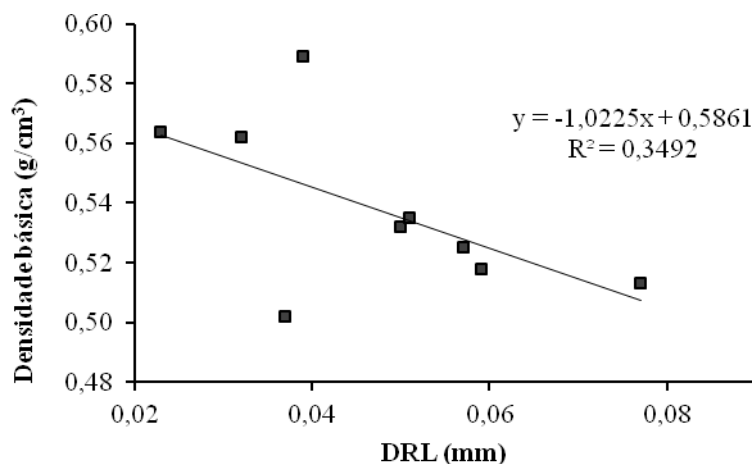


Figura 21 Relação entre a densidade básica e a deformação residual longitudinal (DRL).

Na Figura 19 pode-se observar uma tendência de redução da penetração do pino do Pilodyn® com o aumento da densidade básica da madeira. Correlações altas para o Pilodyn® em árvores de *Eucalyptus globulus* de 5 anos de idade foram encontradas por Raymond et al. (1998), que variaram de -0,39 a -0,87 e entre -0,68 e -0,95 para árvores de 10 anos de idade para a mesma espécie. Já Gouvêa et al. (2011) obtiveram uma correlação linear de 0,75 para *Eucalyptus* de 3 anos de idade e Couto (2011) encontrou para seringueira uma correlação linear de -0,69.

Para a amplitude, Figura 20, foi observada uma correlação linear positiva de 0,61 com a densidade básica, ou seja, tem um comportamento diretamente proporcional, quanto maior a amplitude, maior é a densidade do material. Resultados encontrados por Couto (2011) determinaram correlações lineares de 0,75 e 0,84, respectivamente, para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, aos 54 meses de idade. Gouvêa encontrou para espécies de gênero *Eucalyptus*, com 3 anos de idade, correlação de 0,86, contrariamente os resultados encontrados por Couto (2011) foram baixos para seringueira com um

valor de 0,47. A menor relação encontrada entre a densidade básica e a amplitude indica que o lenho da teca possui elevada variação, conforme mostra a figura 26. Este fato indica que o valor médio pode não ser o mais indicado para se estabelecer uma associação com a densidade básica da madeira.

Para a DRL, Figura 21, observou-se uma correlação linear negativa de -0,59. Este resultado foi bem diferente ao encontrado por Lima (2004), estudando clones de *Eucalyptus*, dos 8,5 aos 15 anos de idade, onde obtiveram uma correlação positiva de 0,53 entre a DRL e a densidade básica da madeira.

A Figura 22 apresenta a relação entre a densidade básica de madeira e a dureza, com uma correlação linear de 0,72, considera-se importante para explicar a variável dureza a partir do valor da densidade básica da madeira. Kollman e Côte (1968) afirmaram que existe uma relação linear entre a densidade e a dureza da madeira e Bodig e Jayne (1982 citados por MOURA; ROUCCO, 2004) apresentaram como significativo um modelo exponencial para expressar a relação entre a densidade e a dureza normal e paralela as fibras. Já Tsoumis (1991) afirma que os efeitos da densidade básica nas propriedades mecânicas da madeira são decorrentes da variação na estrutura anatômica da madeira, características mais elevadas ou mais baixas (largura dos anéis, proporção do lenho tardio etc.) afetam, respectivamente, a resistência da madeira, por exemplo nas folhosas com porosidade em anel, anéis mais largos estão relacionados com uma maior proporção de lenho tardio e maior resistência mecânica.

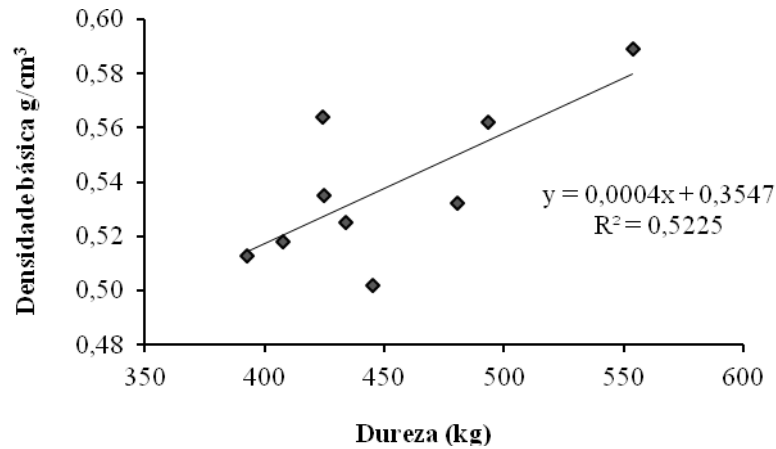


Figura 22 Relação entre a densidade básica e a dureza Janka.

A Figura 23 apresenta a relação funcional entre a densidade básica e a espessura da parede celular das fibras da madeira da teca. Observa-se que as características celulares da madeira tem uma relação direta com a densidade e consequentemente com o desempenho mecânico. A correlação linear encontrada entre a densidade básica e a espessura da parede foi de 0,82, o qual explica que a espessura da parede das fibras está intimamente relacionada com a densidade da madeira. Vários trabalhos têm demonstrado a existência de relação entre a densidade básica da madeira de eucaliptos com os elementos anatômicos, como por exemplo, os de Barrichelo e Brito (1976), Oliveira (1988) e Vital et al. (1994) citados por Trugilho et al. (1996). De forma similar, Tsoumis (1991) determinou que a resistência à flexão está relacionada com a frequência das fibras, distribuição das células de paredes menos espessas, e pelo comprimento e agregação dos elementos de vasos.

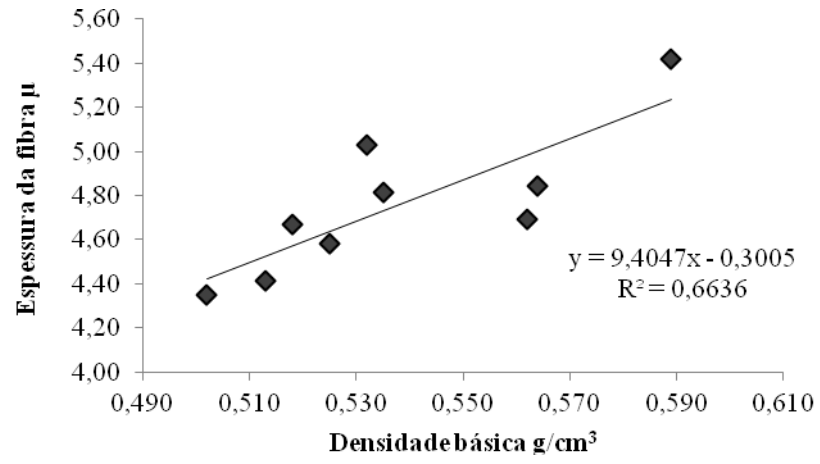


Figura 23 Relação entre a densidade básica e a espessura da parede das fibras.

5 CONCLUSÕES

Dos resultados pode-se concluir que:

- De maneira geral observou-se que o plantio de teca apresentou um crescimento similar à madeira da mesma idade crescendo em outros locais de plantio, representado nos valores das variáveis dendrométricas mensuradas;

- O Pilodyn® foi o aparelho que melhor estimou a densidade básica da madeira de teca com uma correlação linear de $r = 0,78$;

- A madeira de teca apresentou valores baixos de DRL quanto comparados com valores encontrados em *Eucalyptus*, o qual é um indicativo de baixos níveis de tensão de crescimento na madeira;

- O valor médio da densidade básica da teca ($0,538 \text{ g/cm}^3$) foi considerado dentro da média reportada para árvores da mesma espécie em florestas plantadas, na mesma faixa de idade;

- A proporção de cerne encontrada na teca (51,44 %) foi superior à média reportada na literatura especialmente por tratar-se de madeira jovem;

- A teca apresentou um valor alto de excentricidade da medula (8,98%), o qual pode ser devido à influência de fatores ambientais;

- Foram determinados valores altos de lignina (32,55%) e extrativos (8,93%) na madeira de teca quanto comparados com outras espécies de folhosas, são considerados valores altos;

- Apesar da baixa idade, a madeira apresentou baixa variação dimensional representada numa contração radial de 2,40 %, tangencial de 4,21 % e volumétrica de 6,84 %, coeficiente de anisotropia (1,82);

- A madeira de teca jovem apresentou boas propriedades mecânicas, representado principalmente pelo Módulo de Elasticidade MOE, na flexão estática, cujo valor (133040 kgf/cm^2) foi maior que o reportado na literatura para a madeira de mesma idade;

- A densidade básica da madeira apresentou melhores correlações com a dureza Janka ($r=0,72$) e a espessura da parede das fibras ($r=0,82$).

REFERÊNCIAS

AKACHUKU, A. E.; ABOLARIN, D. A. O. Variations in pith excentricity and ring width in teak (*Tectona grandis* L.F.). **Trees: Structure and Function**, Berlin, v. 3, n. 1, p. 111-116, 1989.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143-94**: standards methods of testing small, clear specimens of timber. Barr Harbor, 1997a. Disponível em: <<http://www.astm.org/Standard/index.shtml>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

_____. **ASTM D2395/93**: standards methods of testing small, clear specimens of timber. Barr Harbor, 1997b. Disponível em: <<http://www.astm.org/Standard/index.shtml>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Métodos de ensaio**. São Paulo, 1974. 8 p.

ÂNGELO, H. et al. Aspectos financeiros da produção de teca no Estado de Mato Grosso. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 23-32, jan./mar. 2009.

ARCE, V. H. **Relación albura duramen y características físicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) en plantaciones de 10 años con dos diferentes densidades de plantación en playa garza Guanacaste Costa Rica**. 2001. 36 f. Tesis (Pregrado en Ingeniería Forestal) - Universidad Nacional, Heredia, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011, ano base 2010**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

BAILLÈRES, H.; DURAND, P. Y. Non -destructive techniques for wood quality assessment of plantation grown teak. **Bois et Forest dès Tropiques**, Montpellier, v. 54, n. 263, p. 17-20, 2000.

BETANCUR, C. A.; HERRERA, J. F.; MEJÍA, L. C. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad y secado de la teca (*Tectona grandis*) de Puerto Libertador, Córdoba. **Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín**, Bogotá, v. 56, n. 1, p. 913-939, 2000.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western ghat region in india. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 25, n. 3, p. 273-282, Sept. 2004.

BHAT, K. M.; PRIYA, P. B.; RUGMINI, P. Characterisation in juvenile wood in teak width in teak (*Tectona grandis* L.F.). **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 34, n. 6, p. 517-532, Dec. 2001.

BIOMASSA. Disponível em: <<http://www.floresteca.com.br/produtos-detalle.asp?cont=3&prod=183&det=23>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 373**: methods of testing small clear specimens of timber. London, 1957.

CALLISTER, A. N.; ENGLAND, N. F. How dense is my blue gum?: prediction of whole-tree basic density of *Eucalyptus globules* received. **New Forests**, Dordrecht, v. 40, n. 1, p. 153-164, Jan. 2010.

CASTRO, F. Crecimiento y propiedades físico mecánicas de la madera de teca *tectona grandis* de 17 años de edad en san Joaquín de Abangares Costa Rica. **Agronomia Costarricense**, San José, v. 24, n. 2, p. 7-23, 2000.

COUTO, A. M. **Modelagem da densidade básica e caracterização química em clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis***. 2011. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

DEVLIEGER, F.; QUINTANA, R. Tensiones de crecimiento en híbridos de Álamo creciendo en Chile, Maderas. **Ciencia y Tecnología**, San José, v. 8, n. 3, p. 219-222, 2006.

ENGLERTH, G. H. **Framework of qualitative relationship in wood utilization**. Madison: Forest Products Laboratory, 1966. 16 p. (Research Paper FFP, 45).

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure and reactions**. Berlin: W. Gruyter, 1989. 613 p.

FERREIRA, A. D. et al. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 335-340, out./dez. 2008.

FIGUEIREDO, E. O. **Teca (*Tectona grandis* L.f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal**. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2005. 87 p.

FONSECA, W. **Manual de produtores de teca en Costa Rica**. San José: Instituto Técnico de Costa Rica, 2004. 121 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees working paper FP/44E**. Rome, 2009a. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 15 nov. 2010.

_____. **Situación de los bosques en el mundo**. Rome, 2009b. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 15 nov. 2010.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood: resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, p. 51, 1945.

GOUVÊA, A. F. G. et al. Determinação da densidade básica da madeiras de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 349-358, mar./abr. 2011.

HANSEN, C. P. **Application of the pilodyn in forest tree improvement**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 2000. 15 p. (Series of Technical Notes, TN55).

HAUPT, M. et al. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.): a case study. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 61, n. 6, p. 473-474, Dec. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Base de dados das madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/pesquisa>>. Acesso em: 24 jan. 2012.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. List of microscopic features hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 220-359, 1989.

IZEKOR, D. N.; FUWAPE, J. A.; OLUYEGE, A. O. Effects of density on variations in the mechanical properties of plantation grown *Tectona grandis*. **Wood Archives of Applied Science Research**, Mmabatho, v. 2, n. 6, p. 113-120, June 2010.

JACOBS, M. R. The growth stresses of wood stems. **Bulletin Commonwealth Forestry Bureau**, Canberra, v. 28, p. 1-67, 1945.

KOKUTSE, A. D. et al. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 189, n. 1/3, p. 37-48, Feb. 2004.

KOLLMANN, F. P. F.; COTÉ, A. W. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, 1968. 592 p.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 61-119, Mar. 1987.

LADRACH, W. **Manejo de plantaciones de la teca para productos sólidos**. Maryland: Sociedad Internacional de Forestales Tropicales, 2009. 27 p.

LIMA, J. T. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 107-116, jan./fev. 2004.

LIMA, J. T. et al. Adequação do Resistógraph® para a estimativa da densidade básica da madeira. In: ENCONTRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS EM MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEM, 2006.1 CD-ROM.

_____. Uso do Resistograph para estimar a densidade básica e ressitencia à perfuração de madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, 2007.

MACEDO, R. L. G. et al. Desenvolvimento inicial de *Tectona Grandis* L.f Teca em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 61-69, jan./abr. 2005.

MILLER, R. B. Structure of wood. In: _____. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA Forest Service, 1999. p. 2.1-2.4. (General Technical Report FPL. GTR, 113).

MIRANDA, I.; SOUZA, V.; PEREIRA, H. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 57, n. 1, p. 171-178, Jan. 2011.

MONTEIRO, P. et al. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus sp.* **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2010.

MOREIRA, R. et al. Antraquinonas e naftoquinonas do caule de um espécime de refl orestamento de *Tectona grandis* (Verbenaceae). **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, v. 16, n. 3, p. 392-396, July/Sept. 2006.

MOURA, F.; ROCCO, F. A. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira a través da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 102-113, 2004.

MOYA, R.; ARCE, V. Estudio experimental del efecto del espaciamiento sobre las propiedades físicas de peso específico básico y contracciones en plantaciones de teca (*tectona grandis*) de 10 años. **Revista Forestal Venezolana**, Caracas, v. 47, n. 1, p. 1-24, 2003.

MOYA, R. et al. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, San José, v. 18, n. 2, p. 119-131, 2009.

PALMA, H. A. L.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 141-148, jul. 2010. Suplemento.

PANDEY, D.; BROWN, C. La teak: una visión global. **Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales**, Rome, v. 51, n. 2, p. 3-13, 2000.

PANSHIN, A. J.; ZEEW, C. **Textbook of wood technology**. 3rd ed. New York: McGraw Hill, 1970. v. 1, 705 p.

PÉREZ, L. D.; KANNINEN, M. Heartwood, sapwood and bark content, and Wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 37, n. 1, p. 45-54, 2003.

_____. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 190, n. 2/3, p. 425-441, 2005.

POSCH, B. et al. Physical and mechanical investigations on teakwood (*Tectona grandis* L.f.) from plantations in Panama. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 62, n. 1, p. 31-35, Mar. 2004.

RAMDOSKI, M.; RIBASKI, J. **Excentricidade da medula em *Grevilea robusta* e *Corymbia citriodora* cultivados em sistema silvipastoril**. Colombo: EMBRAPA, 2010. 6 p. (Comunicado Técnico, 248).

RAYMOND, C. et al. Where to shoot your Pilodyn: within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in Tasmania. **New Forests**, Dordrecht, v. 15, n. 2, p. 205-221, Apr. 1998.

RICHTER, H. G.; LEITHOFF, H.; SONNTAG, U. Characterisation and extension of juvenile wood in plantation grown teak (*Tectona grandis* L.f) from Ghana. In: INTERNATIONAL CONFERENCE QUALITY TIMBER PRODUCTS OF TEAK FROM SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT, 1., 2003, Peechi. **Proceedings...** Kerala: Kerala Forest Research Institute, 2003. p. 266-272.

RINN, F. et al. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation on drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v. 50, n. 4, p. 303-311, Aug. 1996.

RIVERO, J.; MOYA, R. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. **Kurú Revista Forestal**, San José, v. 3, n. 9, p. 1-14, 2006.

ROCHA, B.; DELLA, R. M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 11, n. 2, p. 132-145, mar./abr. 1989.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. Physical properties and moisture relations of wood. In: _____. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA, 1999. p. 1-24.

SOUZA, M. T. **Influência do espaçamento e da posição radial nas dimensões das fibras na madeira de *Tectona grandis* L.f.** 2010. 42 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

THULASIDAS, P.; BHAT, K. M. Log characteristics and sawn timber recovery of home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India. **Small-Scale Forestry**, Chicago, v. 8, n. 1, p. 15-24, 2009.

TOUZA, M. C. V. Maderas. **Ciencia y Tecnología**, San José, v. 3, n. 1/2, p. 68-89, 2001.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, jul./set. 2006.

_____. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-110, jan./jun. 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. New York: V. N. Reinhold, 1991. 339 p.

UNITED STATES FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington, 1974. (Agricultural Handbook, 72).

VALERO, S.; REYES, E.; GARAY, D. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Tectona grandis*, de 20 años de edad, proveniente de las plantaciones de la unidad experimental de la reserva forestal Ticoporo, estado barinas. **Revista Forestal Venezolana**, Caracas, v. 49, n. 1, p. 61-73, 2005.

VIEIRA, A. H. et al. **Desempenho de teca (*Tectona grandis*) em plantio adensado no Estado de Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia, 2008. 14 p.

WEAVER, L. *Tectona grandis* L. f. **Teak**: SOITF-SM-64. New Orleans: USDA, 1993. 18 p.

WINDEISEN, E.; KLASSEN, A.; WEGENER, G. On the chemical characterisation of plantation teakwood from Panama. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, n. 61, p. 416-418, Nov. 2003.

ZOBEL, B. B.; BUIJTENEN, B. van. **Wood variation: its causes and control**. New York: Spring-Verlag, 1989. 363 p.

ANEXOS

Tabela 1A Correlações entre a densidade básica e as características químicas e elementares da madeira de teca.

	DB	PCS	C	O	H	N	S	LG	HOL	CINZ	EXT
DB	1	0,52	0,280	-0,262	-0,262	0,140	-0,262	-0,144	0,129	-0,500	-0,061
PCS		1	-0,001	0,175	-0,268	-0,402	-0,433	-0,530	0,464	-0,889	-0,333
C%			1	-0,953	0,046	0,464	-0,079	0,572	-0,220	0,152	0,071
O%				1	-0,318	-0,611	-0,592	-0,592	0,240	-0,321	-0,072
H%					1	0,335	0,619	-0,099	0,201	0,239	-0,259
N%						1	0,685	0,652	-0,481	0,505	0,355
S%							1	0,347	-0,454	0,492	0,435
LG								1	-0,853	0,589	0,718
HOL									1	-0,565	-0,972
CINZ										1	0,438
EXT											1

DB=Densidade básica, PCS=Poder calorífico superior, C=Teor de Carbono, O=Teor de oxigênio, H =Teor de hidrogênio, N=Teor de nitrogênio, S= Teor de enxofre, LG= Teor de lignina, HOL= Teor de holocelulose, CIN= Teor de cinzas, EXT=Teor de extrativos.

Tabela 2A Correlações entre as características de densidade básica, mecânicas e anatômicas da madeira de teca.

	DB	TMAXC	MOE	MOR	DUR	COMPF	ESPAR	LARGF	CVASO
DB	1	0,123	-0,05	-0,01	0,72	-0,20	0,81	0,18	-0,04
TMAXC		1	0,64	0,77	0,49	0,64	0,28	-0,31	0,64
MOE			1	0,75	0,24	0,38	0,35	-0,01	0,84
MOR				1	0,33	0,66	0,06	0,13	0,61
DUR					1	0,38	0,75	-0,28	0,01
COMPF						1	-0,14	-0,39	0,17
ESPAR							1	-0,15	0,28
LARGF								1	0,22
CVASO									1

DB=Densidade básica, TMAXC=Resistência máxima na compressão, MOE= Módulo de elasticidade, MOR=Módulo de ruptura, DUR=Dureza COMPF=Comprimento de fibra, ESPAR=Espessura da parede, LARGF=Largura de fibra, CVASO =Comprimento de vaso.

Tabela 3A Correlações entre as características anatômicas e de retratibilidade da madeira de teca (12% e total).

	COMPF	ESPAR	LARGF	VASOC	CR12	CT12	CV12	CA12	CRT	CTT	CVT	CAT
COMPF	1	-0,142	-0,398	0,177	0,151	0,149	0,154	0,249	0,242	0,050	0,123	-0,156
ESPAR		1	-0,107	0,280	0,332	0,577	0,552	0,181	0,586	0,507	0,609	0,079
LARG			1	0,227	0,213	-0,104	0,053	-0,209	-0,291	-0,261	-0,255	-0,045
VASOC				1	0,701	0,763	0,705	0,674	0,555	0,675	0,628	0,321
CR12					1	0,875	0,942	0,218	0,472	0,720	0,677	0,510
CT12						1	0,958	0,396	0,669	0,886	0,844	0,544
CV12							1	0,227	0,614	0,786	0,790	0,436
CA12								1	0,395	0,492	0,394	0,263
CRT									1	0,825	0,943	-0,126
CTT										1	0,952	0,428
CVT											1	0,166
CAT												1

COMPF = Comprimento de fibra, ESPAR = Espessura da parede, VASOC = Comprimento de vaso, CR12 = Contração radial 12%, CT12 = Contração tangencial 12%, CV12=Contração volumétrica 12%, CA12= Coeficiente de anisotropia 12%, CRT = Contração radial total, CTT = Contração tangencial total, CVT = Contração volumétrica total, CAT = Coeficiente de anisotropia total.

Tabela 4A Correlações entre as características de densidade básica, ensaios não destrutivos e propriedades mecânicas da madeira de teca.

	DB	PIL	AMP	DRL	TMAXC	MOE	MOR	DUR
DB	1	-0,777	0,619	-0,591	0,123	-0,058	-0,012	0,722
PIL		1	-0,527	0,120	-0,227	-0,153	-0,257	-0,550
AMP			1	0,018	0,153	-0,142	-0,158	0,497
DRL				1	0,205	0,286	0,152	-0,487
TMAXC					1	0,649	0,772	0,497
MOE						1	0,758	0,242
MOR							1	0,335
DUR								1

DB = Densidade básica, PIL = Pilodyn, AMP = Amplitude, DRL = Deformação residual longitudinal, TMAXC = Resistência máxima na compressão, MOE = Módulo de elasticidade, MOR = Módulo de ruptura, DUR = Dureza.