**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aplicação dos anéis de crescimento – dendrocronologia - na reconstrução
do crescimento do tronco de árvores de *Tectona grandis* L.f., teca, de
plantações dos estados do Mato Grosso e de São Paulo**

Francisco de Marques de Figueiredo

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais.

**Piracicaba
2021**

Francisco de Marques de Figueiredo
Engenheiro Florestal

**Aplicação dos anéis de crescimento – dendrocronologia - na reconstrução
do crescimento do tronco de árvores de *Tectona grandis* L.f., teca, de
plantações dos estados do Mato Grosso e de São Paulo**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARIO TOMMASIELLO FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais.

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Figueiredo, Francisco de Marques de

Aplicação dos anéis de crescimento – dendrocronologia - na reconstrução do crescimento do tronco de árvores de *Tectona grandis* L.f., teca, de plantações dos estados do Mato Grosso e de São Paulo / Francisco de Marques de Figueiredo. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011 Piracicaba, 2021.

89p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Anel de crescimento 2. Densitometria de raios X 3. Cerne 4. Perfil Radial 5. Alburno I. Título

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por todas as conquistas até hoje;

Agradecer imensamente a meus pais, Adarli e Filomeno, pelo apoio, carinho, suporte e o desejo de ver meu sucesso e crescimento profissional;

A Isabela Camargo, minha namorada e companheira, por toda ajuda, paciência, carinho e amor em todas as partes da vida;

Ao meu orientador, Mario Tommasiello Filho, pela confiança, orientação e ensinamentos;

Ao meu amigo Aparecido Candido Siqueira, por toda ajuda em todas as gauchadas que inventamos.

Agradeço aos amigos e colegas de laboratório e de pós-graduação, que me auxiliaram em todas as etapas e, também, pela amizade que continua: Alci Albiero Jr., Alessandra Voigt, Alinne Santos, Bruna Hornink, Caio Almeida, Fernanda Guedes, Julia Lobo, Pedro Vieira, Ricardo Ortega, Roberto Aragão, Roger Chambi-Legoas, Rosane Severo, William Castro.

A todos que, de forma ou outra, ajudaram nesta caminhada, meu muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 <i>Tectona grandis</i> Linn. f. (Lamiaceae).....	15
2.2 Manejo Florestal.....	18
2.3 Anéis de crescimento	19
2.4 Densidade da madeira.....	21
2.5 Dendrocronologia e microdensitometria de raios X.....	22
2.6 Análise de tronco	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Caracterização das áreas experimentais	27
3.2 Caracterização das plantações, seleção e coleta do lenho das árvores.....	28
3.3 Avaliação do cerne e alburno do tronco das árvores.....	30
3.4 Caracterização e aplicação dos anéis de crescimento do lenho das árvores.....	31
3.4.1 Caracterização da estrutura macroscópica dos anéis de crescimento do lenho.....	31
3.4.2 Demarcação, mensuração da largura e microdensidade dos anéis de crescimento...	31
3.4.3 Reconstrução do crescimento em altura e diâmetro do tronco das árvores.....	32
3.4.4 Incremento corrente anual e incremento médio do lenho das árvores	32
3.4.5 Perfil densitométrico do lenho e variação intra-anual da microdensidade	33
3.4.6 Valores de densidade aparente do lenho: média, mínima e máxima	33
3.4.7 Volume médio e por hectare do lenho das árvores	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Variação do cerne e do alburno do lenho do tronco das árvores	35
4.2 Caracterização e aplicação dos anéis de crescimento do lenho das árvores.....	39
4.2.1 Caracterização da estrutura macroscópica dos anéis de crescimento do lenho.....	39
4.2.2 Variação da largura dos anéis de crescimento do lenho das árvores.....	40
4.2.3 Reconstrução do diâmetro e da altura do tronco das árvores.....	46
4.2.4 Incremento corrente anual e incremento médio anual do lenho das árvores	50
4.2.5 Perfil densitométrico do lenho e a variação intra-anual	51
4.2.6 Valores de densidade aparente do lenho: média, mínima e máxima	54
4.2.7 Volume médio e por hectare do lenho do tronco das árvores.....	57

5. CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	61
ANEXOS	71

RESUMO

Aplicação dos anéis de crescimento – dendrocronologia - na reconstrução do crescimento do tronco de árvores de *Tectona grandis* L.f., teca, de plantações dos estados do Mato Grosso e de São Paulo

No presente trabalho foi aplicada a análise dos anéis de crescimento anuais na reconstrução do crescimento do tronco de árvores de teca, de plantações de 14,4, 9,5 e de 18,7 anos, no espaçamento de 3x3; 4x3 e 3x 3 m, localizadas nos municípios de Porto Espiridião, Glória D'Oeste, Rosário Oeste dos estados do Mato Grosso em clima tropical sub-úmido (Aw) e de 9,4 anos, no espaçamento de 3x2 m de Angatuba no estado de São Paulo em subtropical úmido (Cfa). Foram selecionadas e cortadas 5 árvores de cada plantação e, seccionadas seções transversais do lenho na base, DAP e a cada 1,30 m de altura do tronco. Nas seções transversais do lenho previamente polidas foi mensurada a área do cerne-alburno e determinada a largura e a microdensidade dos anéis de crescimento por densitometria de raios X. Essa metodologia possibilitou reconstruir o mapa do tronco das árvores de teca com as variações radiais-longitudinais do cerne-alburno, largura e microdensidade dos anéis de crescimento. Os resultados incluíram a determinação da (i) área e volume de cerne-alburno das árvores; (ii) variação da largura e a microdensidade dos anéis de crescimento no DAP e no sentido longitudinal do tronco das árvores; (iii) incremento corrente anual e médio anual, volume médio e por hectare e da densidade do lenho do tronco das árvores, etc. Os resultados propiciaram, ainda, discutir o efeito da idade, espaçamento de plantio, desbastes na qualidade e volume do lenho das árvores de teca e, da mesma forma, a influência das condições climáticas das regiões dos estados do Mato Grosso e de São Paulo.

Palavras-chave: Densitometria de raios X; Manejo florestal, Dendrocronologia, Análise do tronco

ABSTRACT

Tree-rings application - dendrochronology - in the reconstruction of the growth of the trunk growth of *Tectona grandis* L.f., teka, trees from plantations in the states of Mato Grosso and São Paulo

In the present work the analysis of the annual tree-rings was applied in the reconstruction of the trunk growth of teak trees from plantations of 14.4, 9.5 and 18.7 years, in the 3x3; 4x3 and 3x 3 m spacing, located in the municipalities of Porto Espiridião, Glória D'Oeste, Rosário Oeste of Mato Grosso state in a sub-humid tropical climate (Aw) and 9.4 years, 3x2 m spacing of Angatuba of São Paulo state in humid subtropical (Cfa). Five teak trees from each plantation were selected and cut, and wood cross sections were sectioned at the base, DBH and at every 1.30 m in trunk height. In the polished wood cross sections, the heartwood-sapwood area and the annual tree-ring width and microdensity by X-ray densitometry were determinate. This methodology allowed to reconstruct the teak trees trunk map with radial-longitudinal variations of the sapwood-heartwood, tree-ring width and wood microdensity. The results included the determination of (i) heartwood-sapwood area and volume; (ii) variation of the tree-ring width and microdensity at DAP and tree-trunk longitudinal direction; (iii) current annual and mean annual wood volume, mean teak tree wood volume and per hectare and wood density. The results also made possible to discuss the tree-age effect, planting spacing and thinning on the volume and wood quality of teak trees and, likewise, the climatic conditions influence of the regions of Mato Grosso and São Paulo states.

Keywords: X-ray densitometry; Forest management; Dendrochronology; Stem analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plantação de árvores de teca em Alta Floresta. Fonte: Produção de teca de Alta Floresta. Nativa News. 20/03/2018.	16
Figura 2 - Plantação de árvores de teca, com destaque a copa e tronco retilíneo, Fonte: TRC (2019). 17	
Figura 3 - Interação de diversos fatores no desenvolvimento do lenho das árvores e formação de vasos nos anéis de crescimento. Ilustração traduzida e adaptada de (ECKSTEIN, 2004).	20
Figura 4 – Características anatômicas do lenho de teca: macroscópica (a) seção transversal e radial; microscópica: seção (b) transversal, (c) tangencial, (d) radial. Fonte: Delta-Intkey, 2019.	21
Figura 5 - Localização e dados climáticos (precipitação e temperatura) nas áreas experimentais nos municípios de Porto Espiridião (1); Glória D'Oeste (2), Rosário Oeste (3) e de Angatuba (4). Fonte: Climate-data.org (2020).	28
Figura 6 - Seccionamento do tronco de árvore de teca, a distâncias de 1,30 m até a sua altura comercial resultando em 06-12 discos do lenho/árvore (5 cm de espessura), Fonte: O autor (2020).....	30
Figura 7 - Scanner Epson Expression 12000XL (a) e a imagem digitalizada da seção transversal do disco do lenho de teca, com programa Paint.NET (b), com a determinação da área do cerne e alburno.	31
Figura 8 - Caracterização dos anéis de crescimento do lenho: (a) demarcação e corte da amostra diametral do lenho; (b) seccionamento da amostra do lenho em equipamento de dupla serra circular; (c) equipamento Faxitron LX-60 e câmara de irradiação das amostras do lenho; (d) imagem digital da seção transversal do lenho + cunha de calibração e aplicação do programa WinDendro para a demarcação, mensuração da largura e microdensidade dos anéis de crescimento.	32
Figura 9 - Estrutura anatômica macroscópica do lenho de árvore de teca, evidenciando a medula (M), cerne (C) e alburno (A), camada cambial (CC), casca interna (CI) e casca externa (CE).....	36
Figura 10 – Variação longitudinal da área do cerne e do alburno na seção transversal do lenho do tronco de árvore de teca.	36
Figura 11 – (a) Variação longitudinal da área (%) do cerne na seção transversal do lenho do tronco; (b) valor de cerne e do alburno (%) no lenho do tronco das árvores de teca nas 4 idades.	37
Figura 12 - Caracterização da estrutura anatômica macroscópica e microscópica do lenho de árvore de teca. Destaque para os anéis de crescimento anuais, delimitados por anéis porosos e semi-porosos e pelo parênquima axial marginal envolvendo total ou parcialmente os vasos de maior diâmetro do lenho inicial, com a região de menor frequência e diâmetro dos vasos e maior % de fibras (lenho tardio). ..	40
Figura 13 – Variação radial da largura dos anéis de crescimento no lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória Oeste e de Angatuba, nos estados de Mato Grosso e São Paulo.	44
Figura 14 – Crescimento radial do DAP das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória D'oeste e de Angatuba, nos estados de Mato Grosso e São Paulo.	45

Figura 15 – Variação do diâmetro-altura (análise do tronco) e do cerne-alburno do tronco das árvores de tecas nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) e de Angatuba (D), nos estados de Mato Grosso e São Paulo.....	49
Figura 16 – Estimativa do ICA e IMA do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) e de Angatuba (D), nos estados de Mato Grosso e São Paulo.....	51
Figura 17 – Identificação e delimitação de anéis de crescimento do lenho da teca, caracterizando a estrutura anatômica macroscópica e densidade dos lenhos inicial e tardio.....	53
Figura 18 – Seção transversal do lenho – imagem digital – com os anéis de crescimento e correspondente perfil da microdensidade do lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) e de Angatuba (D), nos estados de Mato Grosso e São Paulo.....	53
Figura 19 – Perfil de microdensidade intra-anual dos anéis de crescimento do lenho de teca, classificados como (1) uniforme, (2) estável, (3) instável, (4) com anel de crescimento falso.	54
Figura 20 – Perfis radiais de microdensidade do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) e de Angatuba (D), nos estados de Mato Grosso e São Paulo.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização e caracterização das plantações das árvores de teca: municípios de Porto Espiridião (1); Glória D'Oeste (2), Rosário Oeste (3) e de Angatuba (4).	29
Tabela 2 – Variação radial da largura dos anéis de crescimento do lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória D'Oeste e de Angatuba, nos estados de Mato Grosso e São Paulo.	46
Tabela 3 – Variação radial da largura dos anéis de crescimento do lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória D'Oeste e de Angatuba, nos estados de Mato Grosso e São Paulo.	46
Tabela 4 - Densidade aparente média, máxima e mínima do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) e de Angatuba (D), nos estados de Mato Grosso e São Paulo.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 5 – Caracterização das 4 plantações das árvores de teca em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) e de Angatuba (D), nos estados de Mato Grosso e São Paulo.	58

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal desempenha papel importante na geração de renda e desenvolvimento econômico do Brasil tendo, na década de 1960, grande apoio governamental com incentivo fiscal, buscando melhorar a sua base florestal (PEREIRA, 2003). Apesar do setor representar atualmente 1,3% do PIB, pequenos produtores florestais, parte importante no desenvolvimento econômico do país, permanecem receosos sobre empreendimentos florestais, pelo longo ciclo das culturas florestais, pelo limitado apoio das agências de fomento e pela escassa literatura (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2017, 2019).

As plantações florestais tornam-se alternativas de renda nas propriedades rurais mas que necessitam de aplicação de recursos financeiros nas etapas de implantação, manejo e colheita da madeira das árvores das espécies selecionadas, objetivando um melhor desenvolvimento, produção e qualidade da madeira. A predição e quantificação do desenvolvimento das árvores e da produção da madeira das plantações florestais são essenciais e dependentes das corretas práticas de manejo e de acompanhamento do crescimento das árvores. A adoção das técnicas de implantação, das práticas florestais, do material genético, dentre outros, é fundamental para o sucesso do empreendimento, caso contrário, pode ser comprometido por elevada porcentagem de árvores suprimidas e de mortalidade, etc., influenciando na qualidade e quantidade da madeira (KOKUTSE et al., 2010; LIMA et al., 2011; SILVA, 2012; AMOAH; INYONG, 2019).

Nas últimas décadas, o aumento do consumo da madeira e de seus produtos exigiu pesquisas de seleção de espécies e de implantação de florestas de rápido crescimento e menor ciclo de corte. As pesquisas das espécies florestais de interesse asseguram a implantação de florestas com altas taxas de incremento volumétrico e produtoras de madeira de qualidade, passíveis de exploração florestal em ciclos curtos a médios e, ao mesmo tempo, reduzindo a pressão de exploração da madeira de florestas nativas (TOMAZELLO Fo, 1985; SCHUHLI; PALUDZYSZYN Fo, 2010; MELO et al., 2018).

Os dados estatísticos indicam que, em 2015, o Brasil, Índia, Malásia e Indonésia produziram 66% da produção mundial de madeira tropical, e na América Latina, o Brasil atingiu 46% do volume de madeira exportada. As plantações de árvores de espécies introduzidas no país contribuem para a valorização e o incentivo da diversificação da oferta de madeira visando abastecer os mercados nacional e internacional, e das pesquisas para a seleção de espécies, de

sítios potenciais para a garantia do sucesso do empreendimento (MACEDO et al., 2005; ITTO, 2016).

Em 2018, a área de plantações florestais, no Brasil, foi de 7,83 milhões de hectares, com as espécies de eucalipto ocupando o primeiro lugar e a teca, o quarto lugar, com 93.957 hectares. As regiões norte e o noroeste do país se constituíram como prioritárias para as plantações de teca, com destaque para os estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso, este pioneiro e com maior área plantada da espécie (ITTO, 2016; Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2017, 2019).

As árvores de teca, *Tectona grandis*, nativas do sudeste asiático, em Myanmar, Índia, Tailândia, Laos, etc., e, atualmente, amplamente plantada nas regiões tropicais, pela similaridade das condições edafo-climáticas e que resultam na adaptabilidade da espécie, e, ainda, pela sua madeira de alta qualidade estética, resistência e durabilidade (KAOSA-ARD, 1989; PÉREZ; KANNINEN, 2005; KOONKHUNTHOD; SAKURAI; TANAKA, 2007; MEDEIROS et al., 2019).

Além das plantações florestais das árvores de teca de ciclos de corte de média duração, tem sido também, utilizada em sistemas agroflorestais, com a madeira destinada à construção civil, indústria moveleira, de pisos, de confecção de pequenas peças, etc. As árvores de teca têm se constituído em principal espécie tropical para os estudos de dendrocronologia, pela formação no seu lenho de anéis de crescimento anuais, característicos e com potencial para a reconstrução climática, datação de eventos extremos, etc. Da mesma forma, são aplicados nas áreas de silvicultura e de manejo florestal, possibilitando a reconstrução do crescimento em altura e diâmetro do tronco das árvores, da avaliação do efeito do espaçamento, desbastes, etc., até a aferição da adaptação das espécies, qualidade e preconização da aplicação da madeira (PUMIJUMNONG, 2013; GAITAN-ALVAREZ; MOYA; BERROCAL, 2019).

Em relação às plantações das árvores de teca no país, a literatura indica que são utilizados diversos espaçamentos de plantio e que irão resultar em tratamentos silviculturais diferenciados da mato-competição, da competição entre árvores, intensidade de desrama e desbastes, dimensões e volume do tronco (diâmetro e altura), área de copa e período final de corte das árvores, com implicações na quantidade, qualidade, propriedades da madeira, incluindo a relação cerne/alburno no tronco das árvores, etc. (SILVA et al., 2016; VENDRUSCOLO, 2017; STRECK et al., 2018; AMOAH; INYONG, 2019).

Em relação às propriedades do lenho das árvores de teca, destacam-se as características anatômicas, propriedades químicas, físicas e mecânicas. Das características anatômicas do lenho, destacam-se os anéis de crescimento anuais e que contém registros do histórico de vida

da árvore, seja em relação ao manejo florestal (espaçamento, desbastes, desrama, crescimento anual em diâmetro e altura do tronco, etc.), ou a variáveis climático-ecológicas para estudos de dendrocronologia e dendroecologia, além da avaliação da qualidade da madeira (BEECKMAN, 2016; DE MICCO et al., 2019).

Como suporte às análises da estrutura anatômica do lenho, mais recentemente, tem sido aplicada a metodologia de densitometria de raios X, associando-se os parâmetros de largura, frequência-dimensões dos vasos, espessura da parede das fibras e do parênquima, com a construção dos perfis radiais de microdensidade dos lenhos inicial-tardio dos anéis de crescimento anuais. Esses estudos associando metodologias das propriedades anatômica e física (microdensidade) visam a completa caracterização dos anéis de crescimento anuais do lenho das árvores de teca e fornecem subsídios da dinâmica do crescimento e da qualidade do lenho e, assim, as recomendações para um manejo adequado das plantações florestais (NOCETTI et al., 2011; GAITAN-ALVAREZ; MOYA; BERROCAL, 2019).

Evidencia-se, pelo exposto, a importância da espécie e da necessidade de estudos de árvores de teca de plantações de ciclos curto-médio, ampliando o conhecimento da dinâmica do seu crescimento, da produtividade, caracterização, usos e aplicações da madeira em diferentes condições ambientais.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral: caracterização da estrutura anatômica e da microdensidade dos anéis de crescimento do lenho de árvores de teca de plantações dos estados do Mato Grosso e de São Paulo, e sua aplicação na reconstrução do crescimento em diâmetro e altura do tronco.

Objetivos específicos: determinação da área do cerne-alburno, área basal e volume do tronco; delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento e da variação radial de sua microdensidade por densitometria de raios X; reconstrução do crescimento do tronco das árvores de teca.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Tectona grandis* Linn. f. (Lamiaceae)

Naturalmente endêmica das florestas tropicais do subcontinente índico e sudoeste asiático, entre as latitudes 10° e 25° Norte, as árvores de *Tectona grandis*, descrita por Carl Linnaeus Filius, da família Lamiaceae (anteriormente Verbenaceae), são altamente valorizadas pela qualidade e aplicação de sua madeira, rápido crescimento volumétrico, com destaque no mercado madeireiro mundial, sendo introduzida na região dos trópicos das Américas e da África (BEHAGHEL, 1999; KOKUTSE et al., 2004; SCHUHLI; PALUDZYSZYN FILHO, 2010; NOCETTI et al., 2011; FIGUEIREDO; SÁ, 2015).

As árvores de teca são consideradas pelo crescimento em diâmetro e altura do tronco, robustez, vigor, alta adaptabilidade, atingindo 25-35 m de altura e até 1 m de diâmetro do tronco na altura do DAP em florestas naturais. Contudo, as árvores de teca não toleram o sombreamento da copa em todas as fases do seu desenvolvimento sendo, também, afetada pela matocompetição. As árvores são exigentes quanto a fertilidade do solo, principalmente, com níveis de cálcio, necessitando de boa drenagem, e recomendada para solos de textura média. As plantas jovens e as árvores de teca são sensíveis às geadas, que causam danos no meristema apical, nas folhas, etc. (KAOSA-ARD, 1989; BARROSO et al., 2005; VIEIRA et al., 2007; LIMA et al., 2011; SILVA, 2012).

É descrita como uma árvore de copa arredondada, de hábito caducifólio, folhas grandes com forma elíptica ovalada. Possui flores pequenas branco-amareladas, dispostas em panículas e, comumente, inicia a frutificação a partir do 5-6º anos, mantendo a viabilidade das sementes por até 1 ano, quando armazenadas sob refrigeração. As sementes possuem dormência tegumentar exigindo sua escarificação para promover a germinação (PANDEY; BROWN, 2000) (Figura 1).

Figura 1 - Plantação de árvores de teca em Alta Floresta. Fonte: Produção de teca de Alta Floresta. Nativa News. 20/03/2018.

As árvores de teca possuem tronco reto e casca espessa e escura, lenho com cores características e marcantes, cerne marrom escuro e alburno marrom claro, com anéis de crescimento nítidos. A densidade aparente da madeira é de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$, com estabilidade dimensional e, associado à sua coloração possibilita os mais diversos usos, como decoração e em mobiliário pela resistência a umidade. Sua madeira é considerada durável, resistente a pragas e doenças, não deformando ou rachando, com o preço do metro cubico no mercado internacional superior ao da madeira do mogno.

No manejo das plantações florestal deve-se aplicar a desrama, a fim de evitar a formação de galhos e assegurar a produção de madeira livre de nós. A poda das árvores é realizada juntamente com o desbaste, para o estímulo ao incremento do volume de lenho. A desrama deve ser realizada no período chuvoso, resultando no surgimento de novas brotações neste período, que afetam o desenvolvimento das árvores.

A aplicação do desbaste das árvores de teca é função do material genético e do espaçamento das plantações, mas, normalmente, deve ser realizado até o 8º ano para evitar a grande competição entre as árvores. Em povoamentos de teca de alta densidade a prática de desbaste deve ser realizada a cada 5 anos, com um ciclo de corte das árvores no seu 25º ano. Os tocos do tronco das árvores de teca cortadas devem, também, ser avaliados pela facilidade de brotações e, portanto, capaz de manter a competição por recursos com as árvores em pé, além de ser empecilho para a movimentação e as operações no sub-bosque (PANDEY; BROWN, 2000; MACEDO et al., 2005; VIEIRA et al., 2007; LIMA et al., 2011; FIGUEIREDO; SÁ, 2015) (Figura 2).

Figura 2 - Plantação de árvores de teca, com destaque a copa e tronco retilíneo, Fonte: TRC (2019).

As árvores de teca possuem raiz pivotante e com sapopemas na base do tronco, com a taxa de crescimento volumétrico fortemente associada à origem e material genético (JAYASANKAR et al., 1999; KRISHNAPILLAY, 2000; FIGUEIREDO; SÁ, 2015). O espaçamento de plantio, as práticas silviculturais, etc. permitir produzir madeira sem nós, influenciando nos custos finais da madeira, e que apresentam as características e propriedades valorizadas pelo mercado.

Os resultados da literatura indicam que, em geral, o espaçamento de plantio de 3x2 m não limita o desenvolvimento das árvores de teca, da mesma forma, as condições climáticas caracterizadas como clima quente e úmido e precipitação de 1300-2500 mm anuais. Os plantios de mudas de teca realizados no período de dezembro-fevereiro, com maior índice pluviométrico, resultam em mortalidade abaixo de 2% e que dispensar a operação de replantio das mudas (KRISHNAPILLAY, 2000; FIGUEIREDO; OLIVEIRA; SCOLFORO, 2005; FIGUEIREDO; SÁ, 2015).

As técnicas de propagação vegetativa, de seleção e de clonagem das plantas de teca são essenciais para a manutenção da produtividade e qualidade da madeira das árvores de teca em plantações florestais no Brasil. A produção e utilização de mudas de teca via seminal em plantações florestais implica em heterogeneidade do crescimento, defeitos na forma do tronco, taxa de mortalidade, etc.

As plantações de teca em regiões tropicais de clima propício e condições ecológicas adequadas têm apresentado um menor período dos ciclos de exploração com as árvores no DAP

do tronco fuste de 50 cm no 25º ano, sem influenciar as propriedades físico-mecânicas da madeira (KRISHNAPILLAY, 2000; TSUKAMOTO FILHO et al., 2003; CÁCERES FLORESTAL, 2006; FIGUEIREDO; SÁ, 2015).

Os principais parâmetros que definem a qualidade da madeira das árvores de teca são relacionados com a dimensão e circularidade do tronco, relação cerne/alburno e a coloração do lenho. As práticas de manejo que afetam a forma do tronco, que induzem a podridão do lenho do cerne na base do tronco das árvores, afetam o valor de mercado da madeira de teca (KOLLERT; CHERUBINI, 2012).

As plantações florestais teca tem sua produtividade influenciada pelas práticas de manejo silvicultural aplicadas. Na região de Cáceres, estado do Mato Grosso, as plantações de árvores de teca em ciclos de 30 anos – e aplicação de 3-4 desbastes-, produzem peças de madeira com qualidade e dimensão recomendadas para desdobro em serraria. Quando o valor pago pela madeira de teca atende à expectativa e remunera o produtor rural resulta em maior estímulo para investimentos em empreendimentos florestais. A madeira de teca de menor diâmetro resultado dos desbastes iniciais é comercializada nos mercados nacional e internacional para aplicações menos nobres. Da produção mundial de madeira de teca, cerca de 70% destina-se ao mercado da Índia, sendo beneficiada e transformada em produtos, resultado da escassez de madeira no mercado interno pela proteção das florestas naturais do país (FIGUEIREDO; OLIVEIRA; SCOLFORO, 2005; MACEDO et al., 2005; KOLLERT; CHERUBINI, 2012).

2.2 Manejo Florestal

O manejo florestal aplicado de forma técnica nas plantações de árvores de teca garante a produção e qualidade do lenho do tronco das árvores e, desta forma, a valoração da madeira e seus produtos. Fatores relacionados com as condições edafo-climáticas exercem influência na produção de madeira das árvores de teca são de relativo controle; no entanto, outros fatores relacionados ao manejo florestal, como o espaçamento de plantio, a adubação e fertilização, desbastes e desramas, material genético, etc podem ser aplicados (LIMA et al., 2011). O efeito da qualidade do sítio na produtividade das plantações de teca indica que, nas florestas naturais com manejo de 120 anos a produção é de 12-17 m³.ha⁻¹, enquanto que nas plantações florestais de teca na África, Ásia e América Latina, com ciclos de 50 anos a produção está acima de 20 m³.ha⁻¹. No estado do Mato Grosso, as plantações de 10 anos apresentaram produção variando de 4,9 e de 18 m³.ha⁻¹, respectivamente, nos locais menos e mais produtivos (PANDEY; BROWN, 2000; DRESCHER et al., 2014).

A menor produção em madeira de plantações de árvores de teca deve-se, de modo geral, à seleção de sítios com restrição edafo-climática, além de outros aspectos de natureza silvicultural, como espaçamento de plantio, desramas e desbastes, controle de pragas e doenças, etc. Alguns autores mencionam que a desrama natural até o primeiro desbaste pode originar madeira isenta de nós, sendo que, no entanto, a desrama entre o 2º e o 3º desbaste é necessária para a valoração da madeira no final do ciclo de rotação (PRIYA; BHAT, 1998; BHAT; PRIYA; RUGMINI, 2001; FIGUEIREDO; OLIVEIRA; BARBOSA, 2005; VÍQUEZ; PÉREZ, 2005; TONINI; COSTA; SCWENGBER, 2010).

Os resultados das pesquisas realizadas no Brasil e no exterior indicam que o sucesso do empreendimento florestal – neste caso referente às plantações de teca - relaciona-se com a aplicação de práticas adequadas de manejo silvicultural para produção de madeira de alta qualidade. No entanto, a aplicação de manejo florestal avançado das plantações de teca não é a realidade dos pequenos e médios produtores que, ainda, aplicam métodos antigos, pouca técnica e ausência de apoio das agências de extensão e de fomento florestal (PÉREZ CORDERO; KANNINEN, 2003; TEWARI; SINGH, 2018; PACHAS et al., 2019). Assim, os pequenos e médios produtores necessitam da orientação dos extensionistas e instituições de pesquisa, para que a aplicação das novas técnicas geradas pela pesquisa.

2.3 Anéis de crescimento

Os anéis de crescimento são marcações no tronco, que representam um ano de vida ou evento estressante no período de crescimento e desenvolvimento das árvores. A variação climática e ambiental permite que as árvores registrem no seu lenho, na forma dos anéis de crescimento, a magnitude do efeito dos fatores ambientais (OLIVEIRA, 2011).

Inúmeras pesquisas têm sido realizadas com intuito de demonstrar o crescimento sazonal do tronco das árvores tropicais, avaliando a periodicidade da atividade cambial, como suporte para os estudos do desenvolvimento das árvores e da datação de importantes eventos. Os resultados destas pesquisas possibilitam associar a variabilidade climática e as características do solo com as características anatômicas qualitativas e quantitativas do lenho das árvores (DÉTIENNE, 1989; DE CASTRO, 2014).

Em coníferas e em folhosas, o desenvolvimento de regiões específicas nos anéis de crescimento, é relacionado aos fatores intrínsecos ao ambiente e estações do ano. O conhecimento da idade e da taxa de crescimento do tronco das árvores pode ser fundamentado pelo estudo dos anéis de crescimento e aplicado na dendrocronologia, anatomia da madeira,

isótopos estáveis, etc., para a compreensão da dinâmica florestal pelos registros temporais no lenho das árvores (DE MICCO et al., 2019).

Inicialmente, as pesquisas se concentravam nas árvores de espécies de clima temperado pela contrastante sazonalidade climática, mas nas últimas décadas árvores de diversas espécies tropicais se mostram potenciais para estudos de dendrocronologia, pela sua sensibilidade ao clima, demarcando anéis de crescimento anuais (DÉTIENNE, 1989; LISI et al., 2008; GROENENDIJK et al., 2015; LUCAS et al., 2018).

Ao observar e monitorar a atividade cambial, a largura do anel de crescimento e o diâmetro dos vasos, são verificados fatores da planta e do ambiente que regulam a diferenciação celular, como a fenologia, o fotoperíodo, a precipitação e a temperatura (ECKSTEIN, 2004; LISI et al., 2008; GONZÁLEZ, 2013; PUMIJUMNONG, 2013) (Figura 3). Pode observar-se na parte inicial do anel de crescimento, uma faixa de vasos, de maior lume, que reduz gradativamente ao longo do anel de crescimento anual. Observa-se, nesta direção, um correspondente aumento da densidade do lenho pela diminuição da porcentagem e diâmetro do lume dos vasos (NOCETTI et al., 2011).

Figura 3 - Interação de diversos fatores no desenvolvimento do lenho das árvores e formação de vasos nos anéis de crescimento. Adaptada de (ECKSTEIN, 2004).

A estrutura anatômica macroscópica do lenho das árvores de teca evidencia a presença de anéis de crescimento caracterizados como de semi-porosidade, com os vasos (poro) de maior diâmetro no lenho inicial - início do período de crescimento vegetativo – de menor diâmetro e

frequência no lenho tardio. Os anéis de crescimento anuais formados no lenho das árvores de teca são demarcados pelo parênquima marginal e vasos de maior diâmetro. Os vasos no lenho das árvores de teca tem o diâmetro tangencial variando de 190 a 418 μm de comprimento (OLIVEIRA, 2008; CASTRO, 2011; GONZÁLEZ, 2013) (Figura 4).

Figura 4 – Características anatômicas do lenho de teca: macroscópica (a) seção transversal e radial; microscópica: seção (b) transversal, (c) tangencial, (d) radial. Fonte: Delta-Intkey, 2019.

2.4 Densidade da madeira

Na caracterização da qualidade da madeira, a sua densidade é o parâmetro mais utilizado e, o DAP do tronco (1,30 m do solo) da árvore de teca é a posição considerada representativa da densidade média do lenho do tronco. A densidade da madeira é uma propriedade física importante e relacionada com as características físico-mecânicas, químicas, propriedades caloríficas e em rendimento de fibra nas indústrias de celulose e papel. (CHAGAS, 2009; OLIVEIRA, 2015).

Na caracterização da qualidade da madeira, a sua densidade é fortemente correlacionada com a sua estrutura anatômica conferida pelo arranjo espacial e volume dos tecidos de sustentação (fibras), transporte (vasos) e armazenamento (parênquima). Ainda, a bibliografia especializada destaca que a densidade do lenho varia entre e dentro do tronco das árvores, nas

direções radial e longitudinal, entre anéis de crescimento anuais, etc. (ROQUE; TOMAZELLO Fo, 2007; SOUSA; LOUZADA; PEREIRA, 2018).

A literatura descreve diferentes padrões de variação da densidade da madeira na direção base-ápice e medula-casca do tronco estando, também, associada com a idade cambial, largura e estrutura do anel de crescimento, proporção do lenho inicial-tardio, porosidade dos anéis de crescimento anuais, etc.

Os resultados das pesquisas indicam que a menor competição pelos fatores de crescimento entre as plantas na fase inicial de crescimento não afeta a atividade e idade cambial observado, no entanto, no lenho adulto das árvores e em longa rotação (POLGE; ILLY, 1967; PANSIN & ZEEUW, 1980; WIMMER, 1995; ROQUE; TOMAZELLO Fo, 2007; SOUSA; LOUZADA; PEREIRA, 2016, 2018).

Nas amostras de madeira com alto valor de densidade verifica-se, geralmente, menor contração volumétrica e maior resistência mecânica. Assim, a utilização da madeira de determinada espécie depende do valor de sua densidade, da sua massa, estrutura anatômica, variação dimensional, etc. Sendo assim, as informações das análises das propriedades da madeira indicam a adequação de uso e as exigências de sua aplicação (AVELINO, 2012).

As variações da densidade aparente da madeira podem ser correlacionadas com a disposição e a dimensão de elementos anatômicos e composição química. No lenho de árvores com anéis de crescimento pouco visíveis, a aplicação de técnicas como a microdensitometria de raios X possibilitam a delimitação dos anéis de crescimento. Com a possibilidade de demarcar e mensurar a largura dos anéis de crescimento com as imagens digitais do lenho obtidas por raios X abre-se a possibilidade da aplicação dessa ferramenta para estudo ambientais (ROQUE; TOMAZELLO Fo, 2007; TOMAZELLO Fo et al., 2008; PAGOTTO et al., 2017).

2.5 Dendrocronologia e microdensitometria de raios X

O estudo dos anéis de crescimento consolidou-se como uma ciência pelas pesquisas realizadas por Andrew E. Douglass entre séries temporais e variáveis climáticas. Estes estudos permitiram obter – pela análise dos anéis de crescimento - importantes informações do crescimento e desenvolvimento de árvores e arbustos e sua relação com o ecossistema, aos fatores climáticos, macro e micro ambientais (PUMIJUMNONG, 2013; DANIELLI, 2017; BOVI et al., 2018).

O estudo dos anéis de crescimento da madeira, serve de ferramenta com válida importância na geração de informações e estudos de fatores que influem de forma positiva ou

negativa na formação da madeira. Muitos estudos dendrocronológicos buscam desenvolver cronologias médias, estas são geradas pelo princípio e metodologia do cruzamento de dados focando em fenômenos a níveis populacionais e trata-se de um método robusto para controle de qualidade das marcações e a associação correta com o ano-calendário, mas tem como fragilidade a necessidade de árvores com mais de 10 anos de idade a fim de suprir exigências estatísticas mínimas nos programas de análise.

Uma alternativa para estudos dendrocronológicos e anatômicos das propriedades físicas do lenho se dá pelo método da microdensitometria de raios X. Trata-se de uma técnica de rápida e fácil aplicação, com alta sensibilidade e resolução, que mede a intensidade dos raios x que atravessam as amostras, gerando um perfil de densidade da direção radial, além de valores de densidade aparente máxima, média e mínima, entre outras informações (POLGE, 1978; TOMAZELLO Fo et al., 2008; MOYA; TOMAZELLO Fo, 2009; SURDI et al., 2014).

A técnica utilizada no Brasil na década de 1990, usava o densitômetro QTRS-01X Tree Ring Analyzer, com parâmetros de densidade aparente calibrados previamente pelo aparelho, gerando um relatório com os valores em planilha, após a varredura da seção transversal da amostra do lenho na direção medula-casca. Posteriormente com o interesse em usar a metodologia para itens de maior tamanho, com o aparelho de raios X digital Faxitron LX-60, era possível comparar a densidade conhecida de um acetato (acetato de celulose) com a observada da madeira do estudo, comparando os tons de cinza da imagem obtida. Com a utilização de equipamentos de imagens digitais de raios x, a análise tornou-se mais rápida, com menor restrição de tamanho de amostra, além de ser possível a caracterização de defeitos da madeira ou estudos de seus subprodutos (TOMAZELLO Fo et al., 2008; CASTRO et al., 2011; SURDI et al., 2014; DE MICCO et al., 2019).

A técnica da densitometria de raios x, permite delimitar e marcar os limites dos anéis de crescimento no lenho da árvore, facilita a construção de séries cronológicas, úteis em reconstruções climáticas, por exemplo, e gera dados de alto valor para estudos de qualidade e genética silvicultura da madeira. Percebe-se nas análises, uma forte relação entre a microdensidade radial e a variação radial de características dos vasos (ROQUE; TOMAZELLO Fo, 2007). As variações inter e intra-anuais são obtidas através da variação de valores micrométricos de densidade aparente no lenho, provendo informações passíveis de aplicação na classificação da madeira para processos e performance de produtos, inclusive, nas análises de crescimento da madeira das espécies frente ao grande número de programas de reflorestamentos (POLGE, 1978; SCHINKER; HANSEN; SPIECKER, 2003).

Os primeiros relatos da literatura, indicam o uso da investigação com auxílio de raios X, na avaliação de material para uso específico, como para postes de eletricidade e hélices de avião. A análise buscava gerar aspectos qualitativos da madeira, onde foi necessário associar variações climáticas e tratamentos silviculturais ao parâmetros dos anéis de crescimento para gerar uma possível qualificação replicável (TOMAZELLO Fo et al., 2008).

2.6 Análise de tronco

A análise do tronco leva em consideração o exame das secções transversais do lenho para determinar o crescimento das árvores e a qualidade da sua madeira. O crescimento em diâmetro do tronco permite definir o desempenho da árvore de teca na plantação florestal, possibilitando reconstituir o seu crescimento em diâmetro e altura. A análise do tronco fundamentada nas amostras do lenho coletadas em várias alturas do tronco das árvores, permite obter dados de crescimento volumétrico das árvores em povoamentos florestais, auxiliando sua na predição de forma precisa (SILVA, 2012).

A análise do tronco permite inferir sobre o crescimento das árvores, incluindo avaliar as propriedades físico-mecânicas da madeira até a aplicação de análises econômicas e de planejamento da colheita da madeira no final da rotação. A variação das propriedades da madeira no sentido medula-casca é influenciada, principalmente, pela presença e proporção da madeira juvenil (MALAN, 1990).

A madeira de teca tem o seu preço condicionado às suas dimensões e qualidade das peças e, nas plantações no Brasil, principalmente, diâmetro de tronco é pequeno e a madeira de menor qualidade no primeiro e segundo desbaste, aplicada em produtos de menor valor agregado. A partir do terceiro desbaste das plantações, a madeira das árvores de teca tem maior valor atendendo às exigências de bom desempenho e de qualidade.

Fatores como a quantidade e a distribuição das árvores na área, luminosidade, água e nutrientes disponíveis afetam a produtividade e características da madeira, os quais incluindo o espaçamento e mão de obra, afetam significativamente os custos de produção.

A reconstrução do crescimento em altura e diâmetro do tronco, pelo acréscimo de camadas anuais do lenho permite avaliar o comportamento das árvores nas plantações, em determinado espaço de tempo. Os resultados do manejo florestal e o seu efeito no incremento anual do lenho do tronco podem ser analisados aplicando expressões matemáticas ajustadas para a espécie, permitindo estimar os volumes com medidas simplificadas mesmo com a aplicação de tratamentos silviculturais (CHAVES, 2013).

O volume do lenho é, geralmente, o principal parâmetro de interesse em levantamentos florestais, sendo criados e testados muitos modelos matemáticos para os ajustes de equações volumétricas. Diversos autores na literatura especializada definiram equações para as plantações de teca, sendo mais utilizado o modelo de Schumacher-Hall para o ajuste de equação de volume (DA CRUZ et al., 2008; TONINI; COSTA; SCWENGBER, 2010; LEITE et al., 2011; SILVA, 2012; DRESCHER et al., 2014; NÖLTE; MEILBY; YOUSEFPOUR, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das áreas experimentais

As áreas experimentais com as plantações de árvores de teca estão localizadas nos estados do Mato Grosso e de São Paulo. No estado do Mato Grosso, nos municípios de Porto Espiridião (1 - Fazenda Santa Maria do Jauru), Glória D'Oeste (2 - Fazenda Mutum), Rosário Oeste (3 - Fazenda Panflora); no estado de São Paulo, no município de Angatuba (4 - Fazenda Santa Maria). Os solos das áreas experimentais nos municípios de Porto Espiridião, Glória D'Oeste, Rosário Oeste, MT, e Angatuba, SP, são classificados como Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho-Escuro Eutrófico e Concrecionário Câmbico Álico, Latossolo Vermelho-Amarelo/Vermelho Distrófico Típico, respectivamente (EMBRAPA, 2006; ROSSI, 2017).

O clima das áreas experimentais do estado do Mato Grosso é classificado de acordo com Köppen & Geiger como clima tropical sub-úmido (Aw) e, no estado de São Paulo como subtropical úmido (Cfa) (FRITZONS et al., 2012; ALVARES et al., 2013). No Mato Grosso, as três áreas experimentais têm precipitação média anual de 1.449 mm e a temperatura média anual é de 25 °C já no estado de São Paulo a precipitação média anual é de 1.215 mm e a temperatura média anual é de 20 °C.

Em relação à distribuição pluviométrica, nos municípios de Porto Esperidião e Glória D'Oeste, distantes de 25 km, apresentam maior e menor valor de precipitação em janeiro e julho, de 269 e 17 mm, respectivamente; no município de Rosário Oeste, os meses de março e de julho, mostram a maior e menor precipitação de 202 e 15 mm, respectivamente. O município de Angatuba, apresenta o mês de janeiro e de junho-julho, com a maior e menor precipitação, com 195 e 38 mm, respectivamente (Figura 5, Tabela 1).

Figura 5 - Localização e dados climáticos (precipitação e temperatura) nas áreas experimentais nos municípios de Porto Esperidião (1); Glória D'Oeste (2), Rosário Oeste (3) e de Angatuba (4). Fonte: Climate-data.org (2020).

3.2 Caracterização das plantações, seleção e coleta do lenho das árvores

As características das plantações florestais das árvores de teca indicam variações na data e espaçamento do plantio nos municípios, sendo de 3x3 m em março/2003 em Porto Esperidião, 4x3 m em fevereiro/2008 em Glória D'Oeste, 3x3 m em dezembro/1998 em Rosário Oeste e 3x2 m e março/2008 em Angatuba. As plantações de teca nas 4 áreas experimentais foram submetidas ao longo da rotação, às práticas usuais de desrama e de desbastes. Os registros indicam a realização de 3 desbastes na plantação de Porto Esperidião, com a remoção de 86%,

com 195 árvores/ha ao 14,4º ano; 2 desbastes na plantação de Glória D'Oeste, removendo de 45% das árvores, com 458 árvores/ha ao 9,5º ano; 5 desbastes em Rosário Oeste, removendo 88% e com 135 árvores/ha ao 18,7º ano; 2 desbastes na plantação de Angatuba, removendo 42% das árvores, com 950 árvores/ha ao 9,4º ano. Nessas 4 plantações foram selecionadas 20 árvores de teca (5 árvores/plantação) com base nos resultados do censo e o inventário florestal e, considerando, o valor do DAP e retidão do tronco, fitossanidade, distância da bordadura, etc. As árvores de teca selecionadas foram cortadas e mensurado o DAP e a altura total do tronco; em seguida, o tronco foi seccionado no sentido transversal, a distâncias de 1,30 m, resultando em 06 - 12 amostras do lenho/tronco/árvore (5 cm aprox.). Os discos do lenho foram armazenados em condições ambientais e sob ventilação natural e enviados para o laboratório (Figura 6, Tabela 1).

Tabela 1 - Localização e caracterização das plantações das árvores de teca: municípios de Porto Esperidião (1); Glória D'Oeste (2), Rosário Oeste (3) e de Angatuba (4).

Informações				
Estado	Mato Grosso	Mato Grosso	Mato Grosso	São Paulo
Município	Porto Esperidião (1)	Glória D'Oeste (2)	Rosário Oeste (3)	Angatuba (4)
Fazenda (nome)	S.M. Jauru	Mutum	Panflora	Santa Maria
Ano Plantio/Idade	2003/14,4 anos	2008/9,5 anos	1998/18,7 anos	2008/9,4 anos
Árvores reman./ha	195	458	135	950
Espaçamento plantio	3 x 3 m	4 x 3 m	3 x 3 m	3 x 2 m
No. Árv./discos lenho	05 / 11	05 / 12	05 / 11	05 / 06
Altura média tronco	15,66 m	13,50 m	15,39 m	6,75 m
Média DAP do tronco	24,88 cm	18,32 cm	33,25 cm	21,39 cm

Figura 6 - Seccionamento do tronco de árvore de teca, a distâncias de 1,30 m até a sua altura comercial resultando em 06-12 discos do lenho/árvore (5 cm de espessura), Fonte: O autor (2020).

3.3 Avaliação do cerne e alburno do tronco das árvores

A seção transversal do lenho das árvores de teca foi polida com lixas de granulometria 60 a 800 (grânulos.cm²) com lixadeira roto-orbital Mirka Deros 650cv e digitalizadas em scanner Epson Expression 12000XL (resolução 1200 dpi), utilizando os programas Adobe Photoshop e Paint.Net aplicando a metodologia preconizada por Câmara et al., (2017). O programa Paint.Net possibilita, com a ferramenta de laço, o contorno e a determinação das áreas e da porcentagem de cerne e do alburno mesmo com as irregularidades da forma dos discos de lenho das árvores de teca (Figura 7).

Figura 7 - Scanner Epson Expression 12000XL (a) e a imagem digitalizada da seção transversal do disco do lenho de teca, com programa Paint.NET (b), com a determinação da área do cerne e albúrne.

3.4 Caracterização e aplicação dos anéis de crescimento do lenho das árvores

3.4.1 Caracterização da estrutura macroscópica dos anéis de crescimento do lenho

Na seção transversal dos discos do lenho no DAP (região de transição cerne-albúrne) do tronco das árvores de teca foram demarcadas e cortadas amostras do lenho orientadas (3x3x3 cm). Os corpos de prova do lenho foram polidos com lixas até a visualização dos anéis de crescimento, observados em microscópio estereoscópico Zeiss Stemi, para a descrição de sua estrutura anatômica macroscópica (BOTOSSO, 2009).

3.4.2 Demarcação, mensuração da largura e microdensidade dos anéis de crescimento

Na seção transversal dos discos do lenho das árvores - de todas as alturas do tronco - foram demarcadas e cortadas amostras diametraais (1 cm, largura) em serra fita, colados em suporte de madeira e seccionados transversalmente em dupla serra circular, obtendo-se amostras do lenho (1,4 mm, espessura). As amostras do lenho foram acondicionadas em câmara de climatização (20 °C, 60 % UR, 24 h) e, em seguida, irradiadas em equipamento de raios Faxitron LX-60 (30 cm distância da fonte-objeto; 35 kV, 50 mA, 20 s). As imagens digitais da seção transversal do lenho são projetadas no monitor + cunha de calibração, permitindo visualizar e analisar os anéis de crescimento anuais. Em seguida, com o programa WinDendro efetuou-se a demarcação, mensuração da largura dos anéis de crescimento e obter os valores pontuais de sua microdensidade (Figura 8).

Figura 8 - Caracterização dos anéis de crescimento do lenho: (a) demarcação e corte da amostra diametral do lenho; (b) seccionamento da amostra do lenho em equipamento de dupla serra circular; (c) equipamento Faxitron LX-60 e câmara de irradiação das amostras do lenho; (d) imagem digital da seção transversal do lenho + cunha de calibração e aplicação do programa WinDendro para a demarcação, mensuração da largura e microdensidade dos anéis de crescimento.

3.4.3 Reconstrução do crescimento em altura e diâmetro do tronco das árvores

Para a montagem do mapa do tronco das árvores de teca (reconstrução do crescimento em altura e diâmetro do tronco), foram analisados todos os discos do lenho cortados a diferentes alturas do tronco. Na sua seção transversal polida foram delimitados, contados e mensurados a largura dos anéis de crescimento e os valores transferidos para uma planilha no programa Microsoft Office Excel. Em seguida, com um programa gráfico foram montados os mapas do tronco das árvores das idades de plantações das 4 áreas experimentais.

3.4.4 Incremento corrente anual e incremento médio do lenho das árvores

Na determinação do incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) do DAP do tronco das árvores de teca, das plantações das 4 localidades, foram utilizados os valores da largura dos anéis de crescimento anuais. Para esta análise considerou-se o corte raso no 20º ano das plantações das árvores de teca, utilizando o modelo de regressão não linear de Gompertz (Equação 1). Este modelo têm interpretação e parâmetro equivalentes apresentando, no entanto, o ponto de inflexão da curva menor se comparado com o modelo de logística, característica de curva assimétrica (NASCIMENTO, 2014).

$$y = a * \exp(-\exp(-k * (x - xc))) \quad (1)$$

3.4.5 Perfil densitométrico do lenho e variação intra-anual da microdensidade

Os valores pontuais de microdensidade dos anéis de crescimento das amostras radiais do lenho de todas as alturas do tronco das árvores de teca obtidos no programa WinDendro foram ordenados no programa Microsoft Office Excel (vide item 3.4.2). Em seguida, foram construídos os perfis de microdensidade dos anéis de crescimento do lenho nas direções medula-casca (radial) e base-ápice (longitudinal) do tronco das árvores. Os perfis de microdensidade inter e intra-anéis de crescimento anuais foram montados com a respectiva imagem digital da seção transversal do lenho obtida no equipamento de raios X Faxitron.

Os perfis de microdensidade do lenho foram caracterizados de acordo com os parâmetros indicados por Ugulino et. al., 2014; Gaitan-Alvarez et. al., 2019, dentre outros autores, em 4 tipos, a saber (i) uniforme (valores de microdensidade do lenho são praticamente uniformes no anel de crescimento anual), (ii) aumento estável (valores de microdensidade do lenho são constantes no início e aumentam até atingir o limite do anel de crescimento anual; ou aumentam a partir do início até o limite do anel de crescimento); (iii) aumento instável (valores de microdensidade aumentam no início, diminuindo ao longo do anel de crescimento, com 2-3 picos na sua região central), (iv) com anel de crescimento falso (característico, com valores de microdensidade aumentando na região do lenho inicial do anel de crescimento).

3.4.6 Valores de densidade aparente do lenho: média, mínima e máxima

Os valores de densidade aparente média, mínima e máxima das amostras radiais do lenho de todas as alturas do tronco das árvores de teca foram obtidos pela análise dos perfis pontuais de microdensidade do lenho ordenados no programa Microsoft Office Excel (vide item 3.4.5.) e aplicando a metodologia descrita por Tomazello Fo et al., 2008.

3.4.7 Volume médio e por hectare do lenho das árvores

A mensuração dos anéis de crescimento na seção transversal do lenho das árvores possibilitou a determinação do volume do lenho do tronco e do volume médio do lenho/ha. Esses parâmetros de crescimento das árvores estão relacionados com as características do sítio, data do plantio e o manejo aplicado, como os desbastes. O volume do lenho do tronco pode ser estimado pela análise de regressão, com o volume como variável dependente, a altura e o

diâmetro do tronco, variáveis independentes. Na estimativa de volume do lenho utilizou-se a equação ajustada por Drescher et al., (2014) (Equação 2), com coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) 0,981 e erro padrão de estimativa relativo ($S_{yx}\%$) de 3.45%.

$$\log(v) = -4,141 + 1,781.\log(d) + 0,974.\log(h) \quad (2)$$

log = logaritmo de base decimal; v = volume total por árvore; d = diâmetro a 1,3m de altura e h = altura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variação do cerne e do alburno do lenho do tronco das árvores

O lenho do tronco das árvores adultas de teca apresenta uma estrutura anatômica macroscópica caracterizada pelas regiões da medula (parênquima), do cerne (xilema não funcional) e o alburno (xilema funcional); evidenciam-se, também, na microscopia a camada cambial, a casca interna viva (floema) e a casca externa (ritidoma).

O cerne, de coloração marrom escura constituiu a região central do lenho, circundado pelo alburno, de coloração amarelo claro, evidenciando anéis de crescimento concêntricos à medula (Figura 9). A diferenciação da coloração e a % do cerne em relação ao alburno, resultado da deposição de extrativos e de obstrução do lume dos vasos por tiloses tem relação com a taxa de aproveitamento e valorização comercial da madeira (ALMEIDA et al., 2020). A tonalidade da região do cerne no lenho do tronco das árvores de teca é similar à descrita para as árvores de plantações no Brasil e de outros países, como o Peru (MOYA; BOND; QUESADA, 2014; SEGURA et al., 2020).

O modelo de variação longitudinal da % cerne e do alburno na seção transversal do lenho do tronco das árvores de teca é caracterizado pela (i) gradativa diminuição da % do cerne (e respectivo aumento da % de alburno) do lenho da região da base até a altura comercial do tronco das árvores de teca das 4 plantações florestais, independentemente da idade e local e (ii) há uma significativa diferença na % de cerne (e de alburno), em relação à idade das árvores: menor nas árvores de 9,4-9,5 anos (variação de 0,9 – 45,1 cm²; 25,4 – 34,8 %); em comparação com as de 14,4-18,7 anos (variação de 8,3 – 68,4 cm²; 48,1 – 56,4 %) (Figuras 10, 11a).

Em relação ao volume e/ou % de cerne (em relação ao de alburno) no tronco das árvores de teca, observam-se diferença expressivas e significativas, (i) sendo maior nas árvores de 18,7 anos (0,47 m³; 56%) e (ii) equivalente ou similar nas de 14,4 anos (0,28 m³; 48%); verifica-se, ainda, (iii) uma gradual diminuição do cerne, sendo menor em relação ao alburno no lenho do tronco nas árvores de 9,4-9,5 anos (0,03-0,1 m³; 25,4-34,8%) (Figura 11 a,b; Anexo). Esses valores indicam, entre as árvores das plantações de teca de 9,4 e de 9,5 anos, um significativo efeito das variáveis climáticas do sítio e, da mesma forma, um reflexo na utilização comercial do tronco das árvores, nesta idade, considerando o cerne como a principal região do lenho.

Figura 9 - Estrutura anatômica macroscópica do lenho de árvore de teca, evidenciando a medula (M), cerne (C) e alburno (A), camada cambial (CC), casca interna (CI) e casca externa (CE).

Figura 10 – Representação da variação longitudinal da área do cerne e do alburno na seção transversal do lenho do tronco de árvore de teca.

Figura 11 – (a) Variação longitudinal média da área (cm²) do cerne na seção transversal do lenho do tronco; (b) porcentagem média de cerne e alburno (%) no lenho do tronco das árvores de teca (c) volume médio de cerne e alburno (m³) no lenho do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba (D) em São Paulo.

Os valores das variações do cerne e do alburno no lenho das árvores de teca são próximos aos apresentados por inúmeros autores na literatura especializada, como Bhat; Priya; Rugmini, (2001); Leite et al., (2011); Moya; Bond; Quesada, (2014); Arce; Moya, (2015) e Yang et al., (2020).

O processo de formação do cerne (a partir dos tecidos do alburno) no lenho das árvores de teca, no período de 4-7 anos, com um tronco de 6-10 cm de diâmetro, resultado de processos anatômico-fisiológicos e químicos promovem melhoria na sua durabilidade natural e outras propriedades (KOKUTSE et al., 2004; MOYA; BOND; QUESADA, 2014).

A análise quantitativa do cerne no tronco de árvores de teca de 31 anos de plantações na China, realizada por Yang et al., (2020), indicaram uma correlação da % de cerne e de alburno com a variação e distribuição das classes diamétricas.

Ainda, Kokutse et al., (2010) verificaram para árvores de teca de 25 anos, de plantações do oeste da África, resultados similares indicando, também, a formação do cerne quando as árvores possuem 2-3 cm de raio do tronco. Por outro lado, nas plantações de teca da Costa Rica, Moya et. al. (2014) e Fernandez-Sólis et. al., (2018) verificaram o início da formação do cerne no lenho da base do tronco de árvores com 2 anos e na altura do seu DAP com 10 cm.

Leite et al., (2011) destacaram que as árvores de teca adultas apresentam variações significativas na % de cerne e de alburno em relação ao espaçamento de plantio e do manejo realizado, como desbaste e desrama.

A relação entre cerne e o alburno do lenho do DAP do tronco das árvores aumenta com o acréscimo de idade da árvore, sendo que o processo de formação do cerne implica em alteração química do alburno, nos sentidos longitudinal-radial do tronco das árvores (BERROCAL et al., 2018).

Na Indonésia, Palanisamy et. al., (2009) verificaram para árvores de teca de 10 e 40 anos valores de 40 e 80% de cerne, em relação ao alburno, corroborando resultados anteriores de relação entre a % de cerne e a idade das árvores. Ainda, Kokutse et al., (2004) detectaram variações no crescimento de árvores de teca em plantações no Togo, com a formação de maior % de cerne no lenho das árvores de regiões de maior nível de precipitação anual.

Nesse aspecto, Pérez Cordero; Kanninen, (2003); Thulasidas; Bhat, (2012) em plantações de teca na Índia e na Costa Rica, respectivamente, destacam que a formação e a % do cerne e o

crescimento volumétrico do tronco estão relacionados com as características do sítio e das plantações, além do nível de precipitação.

Da mesma forma, Rizanti et al., (2018) analisaram as propriedades do lenho - madeira juvenil-adulta, defeitos do crescimento e estabilidade dimensional - de árvores de teca em relação ao manejo das rotações de curto e longo períodos das plantações florestais.

Outras pesquisas realizadas por Kokutse et al., (2004); Fernandez-Sólis et. al., (2018); Amoah; Inyong, (2019) dentre outros autores, analisam o crescimento volumétrico (diâmetro e altura), a qualidade do lenho, a formação e % do cerne das árvores de teca de plantações sob diferentes regimes de manejo, material genético relação com as regiões de elevado nível de precipitação e de estresse hídrico.

4.2 Caracterização e aplicação dos anéis de crescimento do lenho das árvores

4.2.1 Caracterização da estrutura macroscópica dos anéis de crescimento do lenho

A estrutura anatômica macroscópica do lenho de árvore de teca evidencia a demarcação do limite dos anéis de crescimento anuais, distintos, com um padrão de distribuição dos vasos denominado de vasos em anéis porosos ou em anéis semi-porosos; parênquima axial marginal (em faixas podendo envolver total ou parcialmente os vasos) e por vasos de maior diâmetro do lume associados ao parênquima (lenho inicial) seguindo-se a gradativa diminuição da frequência e diâmetro do lume dos vasos e do parênquima axial e aumento da porcentagem e da espessura da parede das fibras (lenho tardio) (Figura 12).

A estrutura anatômica macroscópica dos anéis de crescimento observada para as árvores de teca é característica da espécie e tem sido descrita com regularidade na literatura especializada por inúmeros autores, como Priya; Bhat, (1998); Oliveira, (2011); González, (2013); Ugulino et. al., (2014) e Dionizio et al., (2017).

Os anéis de crescimento no lenho das árvores de teca apresentam variações na sua largura e nas características dos lenhos inicial e tardio (frequência e diâmetro dos vasos, espessura da parede das fibras, espessura do parênquima, etc.) e, eventualmente, com falsos anéis de crescimento. Essas variações na estrutura anatômica do lenho são resultado da sazonalidade cambial característica ao longo das estações climáticas, incluindo a fenofase de caducifólia total no período de estresse hídrico. A biologia e a xilogênese das árvores de teca, expressam a sua sensibilidade às variações do clima e do solo, e a, incluem no grupo das

principais espécies tropicais de folhosas como potenciais para a dendrocronologia e seus ramos (OLIVEIRA, 2011).

Da mesma forma, a formação dos lenhos inicial e tardio resultado do crescimento cambial, relacionada com a estação chuvosa e seca tem, também, aplicação na taxa de crescimento em diâmetro e altura do tronco importante na avaliação nas práticas de manejo florestal e nos inventários de volume e qualidade do lenho (STAHLE, 1999; TOMAZELLO FILHO et al., 2008; ALVARADO, 2009; MOYA et al., 2009).

Figura 12 - Caracterização da estrutura anatômica macroscópica e microscópica do lenho de árvore de teca. Destaque para os anéis de crescimento anuais, delimitados por anéis porosos e semi-porosos e pelo parênquima axial marginal próximo aos vasos de maior diâmetro do lenho inicial, com a região de menor frequência e diâmetro dos vasos e maior % de fibras (lenho tardio).

4.2.2 Variação da largura dos anéis de crescimento do lenho das árvores

A variação da largura média dos anéis de crescimento anuais - referente ao período da data de plantio ao do corte - das árvores de teca permite aferir o modelo de crescimento radial do seu tronco das 4 plantações experimentais (Tabela 2, Figura 13, 14).

Nas plantações de Rosário Oeste (data do plantio: 1998; espaçamento: 3 x 3m) e de Glória D'Oeste (data do plantio: 2008; espaçamento: 4 x 3 m), em relação às demais plantações, observam-se acréscimos progressivos dos valores da largura dos anéis de crescimento até o 4º ano, seguindo-se decréscimos da largura, com oscilações, até o corte das árvores em 2016.

Nas plantações de Porto Espiridião (data do plantio: 2003; espaçamento: 3 x 3 m) e de Angatuba (data do plantio: 2008; espaçamento: 3 x 2 m) a tendência da gradativa diminuição da largura dos anéis de crescimento é similar, exceto nos anos iniciais, não apresentando os maiores incrementos nos anos iniciais do crescimento das árvores.

A largura dos anéis de crescimento anuais das árvores de teca foi acima de 10 mm, até o 4º ano, das árvores de teca das 3 plantações, exceto para a de Angatuba, até o 2º ano. Nos 2-

3 anos finais, pré-corte das árvores de teca, verifica-se uma redução da largura dos anéis de crescimento anuais, de 3,5 - 5 mm nas plantações de Rosário D'Oeste, Porto Espiridião e Angatuba, com as árvores da plantação de Glória D'Oeste, com 6,8 - 7,5 mm.

No período intermediário do crescimento radial do tronco das árvores de teca, das 4 plantações, os anéis de crescimento oscilaram, para a largura, entre os valores máximos (fase juvenil, inicial) e mínimos (fase adulta, final) descritos.

Essas variações resultam em valores de Incremento Médio Anual em raio do tronco (largura média dos anéis de crescimento) das árvores de teca de 7,0, 7,4 - 7,5 e de 8,4 mm para as plantações de Angatuba, Porto Espiridião, Rosário D'Oeste e Glória D'Oeste, respectivamente.

As diferenças do crescimento radial do tronco das árvores de teca – expresso pela largura dos anéis de crescimento anuais- devem ser consideradas em relação aos diversos fatores, como os edafoclimáticos, da idade das árvores, da implantação e manejo florestal (espaçamento, desbastes, desramas, tratos culturais, etc) até a origem genética das árvores das 4 plantações experimentais.

As práticas de desbaste e de desrama são aplicadas, obrigatoriamente, nas árvores de teca das plantações para assegurar as taxas de crescimento em diâmetro e altura e do lenho do seu tronco e a formação de madeira sem nós internos, que depreciam a madeira. As empresas florestais propiciaram as informações sobre o (1) número de desbastes (variando de 1 desbaste/3,6 a 1/4,5 anos nas plantações de 18, 14-9,5-9,4 anos, respectivamente), a (2) % de remoção das árvores (88, 82 e de 45% nas plantações de 18, 14 e de 9,5-9,4 anos, respectivamente) e (3) o número de árvores remanescentes/ha (135, 195, 458 e 950 árvores, nas plantações de 18, 14, 9,5 e 9,4 anos, respectivamente) na idade de corte, embora, (4) não tenham indicado a época dos desbastes e da desrama.

A análise do crescimento radial do tronco das árvores de teca das 4 plantações (Figura 13, Tabela 2) indica um modelo de variação caracterizado pela gradativa diminuição da largura dos anéis de crescimento anuais, com oscilações até o corte das árvores. As oscilações são representativas da redução do crescimento do tronco face ao aumento da competição pelos fatores de crescimento, seguindo-se a liberação do crescimento como resposta ao desbaste das árvores das plantações. Assim, os desbastes realizados mostraram-se efetivos na manutenção do crescimento do tronco das árvores de teca das 4 plantações de diferentes idades, espaçamentos e condições edafoclimáticas.

Em relação ao *manejo florestal*, e, em especial o espaçamento de plantio, há diferenças importantes entre as plantações, com 12, 9 e 6 m²/planta nas regiões de Porto Esperidião,

Rosário D'Oeste, Glória D'Oeste e de Angatuba, respectivamente (Figura 13, Tabela 2). A respeito do espaçamento de plantio, nas plantações florestais de árvores de teca mais antigas (18,7 e 14,4 anos) com 9 m² disponíveis por planta, a taxa média de incremento radial do tronco foi de 7,4-7,5 mm; nas plantações mais jovens (9,5 e 9,4 anos) com 12 m² por planta, essa taxa média aumentou para 8,4 mm no estado do Mato Grosso e diminuiu para 7,0 mm no estado de São Paulo. Os resultados indicam que as árvores de teca da plantação de Angatuba apresentam menores valores de largura dos anéis de crescimento anuais (ou menor incremento radial do tronco) como resultado do menor espaçamento de plantio (redução de 3 m²/planta) e gradativo aumento da competição pelos fatores de crescimento no período do seu crescimento e desenvolvimento. No entanto, é importante relacionar o efeito do espaçamento com as condições climáticas das 4 regiões, pela origem tropical das árvores de teca e que impõem áreas geográficas de maior aptidão para a implantação das plantações de teca (Figura 5, Tabela 1).

Em relação *ao clima* (Figura 5, Tabela 1), nas áreas experimentais do estado do Mato Grosso e de São Paulo, de clima tropical sub-úmido (Aw) e subtropical úmido (Cfa), as árvores de teca formam, respectivamente, anéis de crescimento de 7,4-8,4 e de 7,0 mm de largura [8,4 vs 7,0 mm, considerando plantações de mesma idade]. Essas diferenças importantes na largura média dos anéis de crescimento anuais das árvores estão relacionadas com a variação da (1) *temperatura* média, máxima e mínima anual, e, considerando somente a temperatura média anual de 25 e de 20°C, nas regiões das plantações nos estados do Mato Grosso e de São Paulo, respectivamente e da (2) *precipitação* em relação ao total e sua distribuição mensal, e, destacando as plantações do (i) estado do Mato Grosso, com precipitação de 1.449 mm/ano, com maior e menor valor em janeiro e julho, de 202-269 e 17 mm, com características de inverno seco (junho-julho-agosto) e do (ii) município de Angatuba, estado de São Paulo, com precipitação de 1.215 mm/ano, com maior e menor valor em janeiro e de junho-julho, de 195 e 38 mm. Desta forma, a interação das variáveis climáticas de temperatura e de precipitação (médias, máxima e mínima e distribuição) da região de Angatuba, SP resultou em redução do crescimento radial do tronco das árvores de teca, sendo reconhecida como área sem aptidão climática para as plantações da espécie, em relação às condições de sua área de origem na Ásia e as das plantações do estado do Mato Grosso.

Em plantações de árvores de teca de 63 anos, em Kerala, Índia, Bhat et. al. (2001) descrevem a fase inicial de crescimento das árvores, caracterizada por anéis de crescimento de maior largura, vasos de menor diâmetro, característicos do lenho juvenil.

Ainda, Thulasidas e Bhat (2012) não observaram diferenças significativas em relação aos anéis de crescimento anuais no lenho do tronco de árvores de teca nativas e de plantações

em Kerala, corroborando a literatura em relação à formação do lenho adulto ao 20-25º ano comparável com o das árvores ao 50-60º ano.

Em relação ao desbaste, Bezerra, (2009) verificou que, independentemente da sua intensidade, não houve efeito significativo na produção líquida volumétrica do lenho, embora com diferença na sua qualidade no tronco das árvores de teca no ciclo final de corte; ressalta que a aplicação de desbastes em períodos regulares e de menor intensidade favorece o crescimento do tronco das árvores, mas, no entanto, é inviável no aspecto operacional e econômico.

Da mesma forma, outras variáveis podem ser consideradas, com as relacionadas com a genética das árvores das plantações e as propriedades químicas do solo, conforme afirma Tonini et. al. (2010) a partir da avaliação do crescimento de árvores de teca de plantações na Amazônia Setentrional.

Ainda, Bhat et. al. (2001) reportam para plantações de árvores de teca de 60 anos, em Kerala, Índia, a largura média dos anéis de crescimento de 2,5 e de 6,6 mm nos lenhos adulto e juvenil, respectivamente, inferior à observada nas árvores do presente estudo. Da mesma forma, Sousa et al., (2012) e Cardoso et al., (2015) indicam pesquisas que reportam para as árvores de teca de 60-70 anos, no Timor Leste até o 20º ano, a formação de anéis de crescimento de largura variando de 4,6-8,7 mm; de acordo com Sousa et al., (2012), com árvores de teca de populações naturais do Timor Leste, de 15 anos, apresentam um raio de 50 mm, com um valor médio de 3,3 mm de largura dos anéis de crescimento.

Figura 13 – Variação radial da largura dos anéis de crescimento no lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória Oeste no estado do Mato Grosso e Angatuba em São Paulo.

Figura 14 – Crescimento radial do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória D’oeste no estado do Mato Grosso e Angatuba em São Paulo.

Tabela 2 – Variação radial da largura dos anéis de crescimento do lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória D'Oeste no estado do Mato Grosso e Angatuba em São Paulo (CV% - Coef. de Variação).

Ano	Rosário Oeste, MT - 18,7 anos		Porto Espiridião, MT - 14,4 anos		Glória D'Oeste, MT - 9,5 anos		Angatuba, SP - 9,4 anos	
	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)
1999	10,3	49,5	-	-	-	-	-	-
2000	16,3	12,0	-	-	-	-	-	-
2001	14,8	11,0	-	-	-	-	-	-
2002	11,6	10,3	-	-	-	-	-	-
2003	9,0	4,3	-	-	-	-	-	-
2004	8,1	5,8	14,6	17,1	-	-	-	-
2005	7,9	8,8	13,2	11,5	-	-	-	-
2006	7,9	19,2	13,1	12,9	-	-	-	-
2007	7,4	24,5	10,8	2,9	-	-	-	-
2008	6,1	16,4	9,9	12,0	-	-	-	-
2009	5,1	20,5	8,2	12,7	11,4	22,4	13,8	34,7
2010	5,3	11,5	6,8	14,9	14,2	12,4	10,7	4,7
2011	5,0	15,6	6,3	19,8	12,0	11,3	9,5	15,9
2012	5,2	12,5	4,8	17,8	11,9	15,1	6,9	11,3
2013	5,2	13,6	5,1	13,9	8,3	17,5	7,5	15,2
2014	4,7	13,1	4,9	18,0	6,8	25,7	4,2	5,3
2015	4,2	15,1	4,2	18,1	7,3	26,0	4,8	22,0
2016	3,5	15,7	5,6	10,2	7,7	41,4	3,4	15,6
SOMA	137,6	-	107,5	-	79,6	-	60,8	-

Tabela 3 – Variação radial acumulada da largura dos anéis de crescimento do lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória D'Oeste no estado do Mato Grosso e Angatuba em São Paulo, (CV% - Coef. de Variação).

Ano	Rosário Oeste, MT - 18,7 anos		Porto Espiridião, MT - 14,4 anos		Glória D'Oeste, MT - 9,5 anos		Angatuba, SP - 9,4 anos	
	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)	Larg. (mm)	Coef. Var. (%)
1999	10,3	47,8	-	-	-	-	-	-
2000	26,6	17,8	-	-	-	-	-	-
2001	41,4	16,0	-	-	-	-	-	-
2002	53,0	10,9	-	-	-	-	-	-
2003	62,0	8,5	-	-	-	-	-	-
2004	70,1	12,0	14,6	18,4	-	-	-	-
2005	78,0	10,9	27,8	11,1	-	-	-	-
2006	85,9	7,3	40,9	8,3	-	-	-	-
2007	93,3	5,3	51,7	11,0	-	-	-	-
2008	99,4	5,8	61,6	6,0	-	-	-	-
2009	104,5	5,3	69,8	7,2	11,4	22,4	13,8	36,6
2010	109,8	5,0	76,6	4,6	25,6	17,7	24,5	7,8
2011	114,8	4,6	82,9	4,1	37,6	11,6	34	7,9
2012	120,0	4,3	87,7	4,9	49,5	12,2	40,9	5,5
2013	125,2	3,9	92,8	4,5	57,8	6,1	48,4	6,4
2014	129,9	3,7	97,7	4,2	64,6	4,2	52,6	5,6
2015	134,1	3,6	101,9	4,7	71,9	4,7	57,4	3,7
2016	137,6	3,8	107,5	5,0	79,6	3,8	60,8	2,8

4.2.3 Reconstrução do diâmetro e da altura do tronco das árvores

A reconstrução do diâmetro e da altura do tronco das árvores de teca, pela mensuração da largura dos anéis de crescimento anuais na seção transversal do seu lenho, denominada de análise do tronco, é importante para: (i) avaliar o crescimento volumétrico das árvores, ano a ano, ao longo da rotação, (ii) aferir o efeito das práticas de manejo e das variáveis climáticas, (iii) diagnóstico do volume total das árvores e do rendimento no desdobro em serraria, no final do ciclo e, (iv) tomada de decisão quanto ao momento de corte das árvores, avaliação econômica do empreendimento, nível de retorno dos investimentos, etc.

A inclusão das regiões do cerne-alburno na análise do tronco, abre a perspectiva de incluir (v) a % de peças de cerne e de alburno, indicativa do rendimento final de madeira

comercial das árvores de teca. Esses importantes parâmetros de volume até a qualidade da madeira podem ser determinados por árvore, e, por amostragem, para toda a plantação das árvores de teca, por unidade de área.

A análise do tronco das árvores de teca indica diferenças significativas no seu crescimento e desenvolvimento nas 4 plantações, podendo ser agrupadas as de (i) Rosário D'Oeste e Porto Espiridião, (ii) Glória D'Oeste, no estado do Mato Grosso e de (iii) Angatuba, no estado de São Paulo.

Esse agrupamento das plantações de árvores de teca pela análise do tronco é similar ao obtido para o crescimento radial do tronco, fundamentado na largura dos anéis de crescimento anuais (item 4.2.1).

A análise do tronco das árvores de teca possibilita caracterizar uma fase inicial, com maiores valores do crescimento em altura, seguindo-se uma segunda fase, com os anéis de crescimento mais estreitos e próximos e indicativos de incrementos menores da altura do tronco das árvores – concomitantes aos anéis de crescimento radiais-, com diferenças entre idade e locais das plantações florestais.

Assim, os resultados da análise do tronco (diâmetro e altura do lenho: volume) das árvores de teca estão relacionados com os desbastes, espaçamento, condições climáticas, etc. Os desbastes (frequência e intensidade) mostraram-se efetivos na manutenção do crescimento do tronco das árvores de teca das 4 plantações diferenciadas pela idade, espaçamento e condições climáticas. No entanto, o espaçamento de plantio de 6 m²/planta da plantação de Angatuba/SP reduziu em 55 % a altura em relação ao de 12 m²/planta de plantação de idade similar, de Glória D'Oeste/MT (Figura 15) (A reconstrução do crescimento do tronco das árvores é apresentada no Anexo).

As inferências em relação ao clima e seu efeito no crescimento em altura (e volumetria) do tronco das árvores de teca são as mesmas detalhadas no item anterior: enquanto que as árvores de teca apresentam um incremento médio anual de altura do tronco de 1,0-1,50 m nas plantações de clima tropical sub-úmido (Aw) no estado do Mato Grosso e de 0,85 m no clima subtropical úmido (Cfa) em Angatuba/SP. Confirma-se tratar de área sem aptidão climática para as plantações da espécie, em relação às condições de sua área de origem na Ásia e as das plantações do estado do Mato Grosso.

Da mesma forma, a Figura 15 representa, informações da variação longitudinal e volume do cerne (representado em marrom escuro) e do alburno (marrom claro) do tronco das árvores de teca e que tem forte correlação com as propriedades e rendimento industrial da madeira de

teca, além das variações devidas ao lenho de tração e de reentrâncias do caule pelas regiões de inserção dos galhos.

Os resultados da análise do tronco das árvores de teca corroboram com os obtidos pela mensuração da largura dos anéis de crescimento de plantações de diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG de acordo com Macedo et al., (2005) e da mesma forma, para a espessura dos anéis de crescimento na reconstrução do crescimento do tronco das árvores de teca, possibilitando inferir sobre dinâmica das populações florestais, de acordo com Dionizio et al., (2017).

Figura 15 – Variação do diâmetro-altura (análise do tronco) e do cerne-alborno do tronco das árvores de tecas nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba (D) em São Paulo. As cores representam o cerne – marrom escuro, alborno – marrom claro.

4.2.4 Incremento corrente anual e incremento médio anual do lenho das árvores

O incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA) das árvores de teca das 4 plantações florestais foram calculados, com base no incremento da seção transversal do seu lenho (g), com a previsão do corte raso das árvores no 20º ano. Estima-se que as árvores de teca apresentem 1 m³ de volume de lenho no seu 25º ano, seguindo-se o seu corte; no entanto, há incertezas em relação às dimensões inadequadas do tronco e o valor da remuneração da madeira de árvores mais jovens, quando atinge-se a rentabilidade máxima dos povoamentos florestais. Nesse caso, o prognóstico gerado pelo inventário permite o acompanhamento e a intervenção com critérios técnicos das plantações florestais (FIGUEIREDO; SÁ, 2015).

No presente estudo a equação quadrática que apresentou melhor ajuste foi o Modelo Gompertz, resultando num ajuste R²Aj de 0,96 para Angatuba “9,4 anos”, 0,91 para Glória D’Oeste “9,5 anos”, 0,95 para Porto Espiridião “14,4 anos” e 0,96 para Rosário Oeste “18,7 anos”. A plotagem dos gráficos de ICA e IMA dos locais estudados (Figura 16), mostra que o máximo incremento médio anual ocorre aos 7,3 anos para a teca de Angatuba com 9,38 cm² de seção transversal (g), a teca de Glória D’Oeste com seção transversal (g) de 18,70 cm² alcança o máximo incremento médio anual aos 7,7 anos, para a teca de Porto Espiridião com seção transversal (g) de 31,68 cm² ocorre aos 9,3 anos e acontece aos 13,4 anos para a teca de Rosário Oeste seção transversal (g) de 50,87 cm². Neste período, quando as curvas do IMA e do ICA se interceptam, indica-se a idade das árvores de teca ao atingir o crescimento diamétrico máximo do seu tronco, seguindo-se da queda produtiva da plantação exigindo a aplicação de práticas silviculturais.

Estudo da produtividade volumétrica de árvores de espécies exóticas em 16 municípios do estado do Mato Grosso, incluindo as de teca realizado por Shimizu et. al., (2007) indicou, para a espécie, o IMA médio de 15,6 m³/ha.ano, pelo manejo adequado e das condições edafo-climáticas favoráveis; em Rosário Oeste e Porto Espiridião a produtividade das plantações de teca foi 15,02 e de 12,83 m³/ha.ano, respectivamente, abaixo da registrada no estudo. Ainda, o incremento corrente anual e de incremento médio anual do tronco de árvores de teca de plantações de 13 anos, em Alta Floresta, MT, foram de 0,45 e de 1,46 cm/ano, de acordo com Drescher (2004), classificando o ICA e IMA de 4,9 e 6,5 m³/ha.ano e de 18,8 e de 26 m³/ha.ano para as plantações de menor e de maior produtividade. No estado de Rondônia as plantações de árvores de teca no 7º-8º ano apresentaram a estagnação e o decréscimo da produtividade de acordo com (VIEIRA et al., 2007); enquanto que, em Tangará da Serra- MT, segundo Da Cruz

et al., (2008), as plantações de teca indicaram o incremento volumétrico médio máximo em 3 níveis de produtividade 24,21, 27,05 e 30, 82 m³/ha.ano aos 6,3, 5,6 e ao 5º ano.

Figura 16 – Estimativa do ICA e IMA do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba (D) em São Paulo.

4.2.5 Perfil densitométrico do lenho e a variação intra-anual

Os anéis de crescimento anuais semi-porosos, visualizados no lenho do tronco das árvores de teca, propiciam a montagem dos perfis radiais de microdensidade do lenho; estes são caracterizados por regiões de menor e de maior densidade (Figuras 17, 18) e representativos da variação intra-anual da estrutura anatômica do lenho. Esta variação intra-anual da anatomia-microdensidade é evidenciada por 2 regiões dos anéis de crescimento, similares aos lenhos inicial-tardio das folhosas de clima temperado, como o das árvores de carvalho, do gênero *Quercus*, conforme descrito em detalhes no item 4.2.1.

Diversos autores, como Roque; Tomazello Fo, 2007; Pagotto et al., 2017, analisando os anéis de crescimento do lenho de árvores de teca e de outras espécies tem associado as variações da estrutura anatômica macro e microscópica – ao longo dos anéis de crescimento – principalmente, em relação aos vasos (frequência e diâmetro), do parênquima (%) e das fibras (largura, espessura da parede, diâmetro do lume). Essas observações corroboram às das Figura 17 e 18, e que indicam valores de densidade mínima e máxima variando de 0,21-0,28 a 0,98-1,23 g.cm³ representativos dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento. A densidade

mínima e máxima irão compor a densidade média aparente do anel de crescimento anual, e, estas podem ser aplicadas em dendrocronologia e dendroclimatologia (datação das árvores e reconstrução climática, etc.) e se relacionam com as propriedades, usos e aplicações da madeira de teca. As análises dos anéis de crescimento incluem, também, um parâmetro anatômico da maior importância, o da sua largura, com variações de largos a estreitos, representativos das condições de crescimento, competição, das variáveis climáticas anuais, etc., e aplicados tradicionalmente nos estudos de dendrocronologia e suas especialidades, de acordo com (Nocetti et al., 2011; Gaitan-Alvarez; Moya; Berrocal, 2019, dentre outros.

Os perfis radiais de microdensidade dos anéis de crescimento do lenho das árvores adultas de teca indicam, de modo geral, uma região do interior do lenho caracterizada pela maior largura e menor valor de densidade do lenho – expressando a madeira juvenil – seguida de região formada por anéis de crescimento mais estreitos e de maior valor de densidade – expressando a madeira adulta-. Essa variação anatômica-física do lenho expressam o processo de maturação das células cambiais, conforme destacam diversos autores, como Oliveira, 2008, (CHAGAS et al., 2014; SOUSA; LOUZADA; PEREIRA, 2018), etc. e que tem forte implicação com a biomecânica do tronco e com as propriedades físico-mecânicas da madeira.

A variação da estrutura anatômica e dos perfis de microdensidade do lenho possibilita a classificação em 4 tipos [considerando a região entre os picos de densidade, ou, limite dos anéis de crescimento], sendo (1) estável, (2) crescente, (3) instável, com IADFs: “intra-annual density fluctuations” e (4) falso anel de crescimento (Figura 19), descritos para as árvores de teca, na Costa Rica, por Gaitan-Alvarez; Moya; Berrocal, 2019), com destaque para o tipo (3) com uma frequência de 38,7%. Essa variação intra-anéis de crescimento anuais do lenho das árvores de teca (e de outras espécies) está relacionada com as condições climáticas, de competição pelos fatores de crescimento, idade cambial, fatores bióticos-abióticos, etc., operantes o período de sua formação. Como exemplo, períodos de estresse hídrico e de baixa temperatura interrompem a atividade cambial do tronco das árvores e que refletem na estrutura anatômica do xilema, como na largura e frequência de vasos, dimensões das fibras, etc. e, consequentemente, na sua densidade (BHAT; PRIYA; RUGMINI, 2001; GAITAN-ALVAREZ; MOYA; BERROCAL, 2019). Ainda, os anéis de crescimento falsos foram observados no cerne-alburno do lenho das árvores de teca, principalmente no cerne, de acordo com (UGULINO; LATORRACA; TOMAZELLO FILHO, (2014), PRIYA; BHAT, (1998)), resultado de evento de precipitação na estação de seca e/ou eventos de estresse hídrico na estação de crescimento.

Figura 17 – Identificação e delimitação de anéis de crescimento do lenho da teca, caracterizando a estrutura anatômica macroscópica e densidade dos lenhos inicial e tardio.

Figura 18 – Seção transversal do lenho – imagem digital – com os anéis de crescimento e correspondente perfil da microdensidade do lenho do DAP do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba (D) em São Paulo.

Figura 19 – Perfil de microdensidade intra-anual dos anéis de crescimento do lenho de teca, classificados como (1) uniforme, (2) estável, (3) instável com “IADFs”, (4) com anel de crescimento falso.

4.2.6 Valores de densidade aparente do lenho: média, mínima e máxima

Os perfis radiais da microdensidade dos anéis de crescimento do lenho ao longo do tronco (sentido longitudinal) das árvores de teca permitem inferir sobre o efeito das práticas silviculturais, da variação genética dos clones, da influência dos fatores edafo-climáticos, até a análise da qualidade e aplicação da madeira, incluindo a formação do lenho de reação, nós da madeira, biodegradação por organismos xilófagos, etc. (TOMAZELLO Fo. et al, (2008); BASTOS et al., 2017) (Figura 20, Anexo).

Os perfis radiais da microdensidade dos anéis de crescimento do lenho do tronco das árvores de teca constituem-se, ainda, em importante metodologia para a construção dos mapas do tronco que expressam a variação radial-longitudinal do lenho, a exemplo do realizado por (Oliveira et al., 2015, 2018) para árvores de jequitibá-rosa.

Ainda, a metodologia de densitometria de raios X possibilitou determinar o valor da densidade aparente média – e, da mesma forma, o modelo de sua variação - das amostras do lenho ao longo do tronco das árvores de teca das 4 plantações florestais. A análise do modelo indica, de modo geral, maior valor da densidade aparente do lenho nas posições da base e do ápice do tronco das árvores de teca, exceto para as da plantação de Angatuba, SP (Figura 21).

Em relação à densidade aparente média – média aritmética - do tronco das árvores de teca, são indicados os valores de 0,68, 0,65, 0,68 e 0,63 g.cm⁻³ para as plantações florestais de Rosário Oeste, Porto Espiridião, Glória D'Oeste e Angatuba. Esses valores de densidade aparente média do tronco estão relacionados com as variáveis de implantação e de manejo florestal, com as características edafo-climáticas, com a idade das árvores, etc (Tabela 4).

Na literatura especializada há inúmeras referências da densidade aparente do lenho das árvores de teca, com a de Avelino (2012) indicando o valor de 0,70 g.cm-3 para árvores de 11 anos; de Flórez (2012) de 0,540 g.cm-3 para árvores de 13 anos; de Moya et al., 2009 de 0,55-0,86 para árvores na Costa Rica; de Kokutse et al. (2004) com 0,65-0,73 g.cm-3 para árvores em Togo.

Figura 20 – Perfis radiais de microdensidade do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba (D) em São Paulo.

Tabela 4 - Densidade aparente média, máxima e mínima do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba (D) em São Paulo.

Rosário Oeste - MT								
Posição	Densidade aparente média do lenho (g.cm ³)						Mín. - Máx	
	BASE	DAP	4,05m	8,1m	10,8m	13,5m		
TP5	0,687	0,618	0,594	0,604	0,787	0,727	0,262	1,167
TP6	0,651	0,685	0,649	0,678	0,729	0,746	0,268	1,198
TP7	0,611	0,647	0,668	0,708	0,729	0,734	0,264	1,194
TP9	0,599	0,688	0,593	0,647	0,691	0,688	0,270	1,225
TP10	0,676	0,704	0,649	0,732	0,714	0,789	0,270	1,212
Porto Espiridião - MT								
Posição	Densidade aparente média do lenho (g.cm ³)						Mín. - Máx	
	BASE	DAP	4,05m	8,1m	10,8m	13,5m		
T51	0,639	0,598	0,612	0,684	0,665	0,702	0,258	1,118
T52	0,631	0,613	0,601	0,606	0,648	0,677	0,268	1,168
T53	0,614	0,540	0,599	0,568	0,639	0,600	0,268	1,188
T54	0,662	0,591	0,607	0,592	0,619	0,755	0,270	1,019
T55	0,703	0,683	0,686	0,731	0,785	0,656	0,268	1,160
Glória D'Oeste - MT								
Posição	Densidade aparente média do lenho (g.cm ³)						Mín. - Máx	
	BASE	DAP	4,05m	8,1m	10,8m	13,5m		
TM1	0,717	0,606	0,599	0,632	0,726	0,707	0,268	1,026
TM2	0,730	0,683	0,640	0,816	0,710	0,712	0,270	1,191
TM3	0,666	0,557	0,658	0,679	0,727	0,696	0,209	1,162
TM4	0,736	0,685	0,711	0,742	0,704	0,881	0,270	1,189
TM5	0,555	0,591	0,588	0,625	0,639	0,652	0,276	1,137
Angatuba - SP								
Posição	Densidade aparente média do lenho (g.cm ³)						Mín. - Máx	
	BASE	DAP	2,7m	4,05m	5,4m	6,75m		
1011	0,664	0,740	0,736	0,652	0,646	0,677	0,233	1,044
1016	0,685	0,614	0,644	0,582	0,623	0,657	0,222	0,977
1021	0,637	0,788	0,630	0,657	0,652	0,633	0,230	1,014
1026	0,581	0,682	0,581	0,576	0,553	0,589	0,230	1,010
1031	0,606	0,681	0,595	0,59	0,565	0,584	0,231	1,018

Figura 21 - Variação longitudinal da densidade aparente do lenho do tronco das árvores de teca nas 4 plantações em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba (D) em São Paulo.

4.2.7 Volume médio e por hectare do lenho do tronco das árvores

O volume do lenho das árvores de teca foi obtido pela da Equação (1), ajustada por Drescher et al. (2014), para árvores jovens de teca de plantações do estado do Mato Grosso. Na literatura especializada menciona-se que o modelo Schumacher-Hall apresenta melhor desempenho e estimativas de volume do lenho das árvores, pelo baixo coeficiente de variação e erro padrão (DRESCHER, 2004; OLIVEIRA, 2014). O volume médio do lenho e o volume médio por hectare do tronco (Tabela 5), varia com o aumento da idade das árvores de teca das plantações de 0,0565 a 0,5316 m³ e 53 a 97 m³/há. Salienta-se que o valor obtido para o volume do lenho do tronco coincide com os mencionados na literatura, e que são indicativos da resposta das árvores ao desbaste e a outras práticas, além das condições edafoclimáticas.

Em plantações de árvores de teca com 11 e 16 anos, Silva et al., (2016) obtiveram 0,060 e 0,108 m³ para volume médio do lenho do tronco das árvores de 93 e 101 m³/ha para o volume do lenho por hectare. Chaves (2013) obteve em 6 parcelas de árvores de teca com 33 anos, uma produtividade de 208,30 até 343,51 m³ de lenho por hectare. Na Malásia, Krishnapillay (2000) descreve 0,50 m³ do lenho da árvore de teca e, em Ouro Preto D'Oeste – MT, estudo de Vieira

et al., (2007) determinou em árvores de teca de 9 anos, um volume de lenho de 0,2272 m³ por indivíduo e 189,56 m³/ha. Em plantações de teca de 7 anos, no município de Iracema – RR, Tonini; Costa; Scwenberg, (2010) obtiveram 52,80 m³/ha, em plantações de teca de 30 anos na Costa Rica, Pérez e Kanninen, (2005) estimaram 212 m³/ha.

Tabela 5 – Caracterização das 4 plantações das árvores de teca em Rosário Oeste (A), Porto Espiridião (B), Glória D'Oeste (C) no estado do Mato Grosso e Angatuba em São Paulo.

Local	População	Dap (cm)	h (m)	Volume (m ³)	Volume (ha)	CV%
Angatuba	950	14 - 15,3	6,75	0,0565	53,705	5,839
Glória D'Oeste	458	20,3 - 22,3	12,15 - 14,85	0,2133	97,699	8,833
Porto Espiridião	195	27,7 - 28,9	13,5 - 17,55	0,4058	79,122	10,967
Rosário Oeste	135	32,8 - 34,2	13,5 - 17,55	0,5316	71,763	10,452

5. CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que, em relação ao:

Cerne e alburno: (i) diminuição % do alburno e aumento % de cerne da base até a altura comercial, (ii) significativa diferença no volume e na % de cerne e de alburno, em relação à idade das árvores.

Estrutura macroscópica dos anéis de crescimento: (i) característica da espécie e similar à da literatura.

Largura dos anéis de crescimento: os anéis de crescimento anuais permitem (i) construir os modelos de crescimento do tronco, diferenciados em relação à data e espaçamento de plantio e características edafo-climáticas dos locais; (ii) comprovar que a data, espaçamento e o manejo das plantações influenciam na taxa média de incremento radial do tronco das árvores e (iii) relacionar as condições climáticas com a taxa de crescimento do tronco das árvores, indicando as áreas de maior aptidão.

Reconstrução do tronco: (i) há diferenças significativas nas fases de crescimento das árvores e no volume total do lenho, (ii) relaciona-se com a data de plantio, manejo das plantações e com o clima das regiões.

Microdensidade dos anéis de crescimento: (i) com 2 regiões características (lenho inicial e tardio) dos anéis de crescimento anuais, (ii) relacionada com a anatomia e similar ao lenho das folhosas de clima temperado; (iii) permite determinar a largura e densidades mínima, média e máxima dos anéis de crescimento; (iv) caracterização de 4 tipos de anéis de crescimento.

Densidade do lenho: (i) maior densidade do lenho ocorre nas posições da base e do ápice; (ii) maior densidade do lenho nas árvores adultas, pequena diferença às das demais idades.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. N. F. de et al. Heartwood variation of *Eucalyptus urophylla* is influenced by climatic conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 458, n. November 2019, p. 1–10, 2020.
- ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru**. 2009. 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-18052009-165913/>>.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMOAHA, M.; INYONG, S. Comparison of some physical, mechanical and anatomical properties of smallholder plantation teak (*Tectona grandis* Linn. f.) from dry and wet localities of Ghana. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 16, n. 2, p. 125–138, 2019.
- ARCE, N.; MOYA, R. Propriedades da Madeira de Clones adultos de *Tectona grandis* crescendo na Costa Rica. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 353–362, 2015.
- AVELINO, E. F. **Avaliação da madeira de teca jovem (*Tectona grandis* L. f.) visando uso em movelaria**. 2012. 2012.
- BARROSO, D. G. et al. Diagnóstico de deficiência de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 671–679, 2005.
- BASTOS, F. S. et al. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO PERFIL DE DENSIDADE DO LENHO DE ÁRVORES DE PINUS POR MÉTODOS RADIOGRÁFICOS. **III CBCTEM**, 2017.
- BEECKMAN, H. WOOD ANATOMY and TRAIT-BASED ECOLOGY. **IAWA Journal**, v. 37, n. 2, p. 127–151, 2016.
- BEHAGHEL, I. The State of Teak (*Tectona Grandis* L . F .) Plantations in the World Teak. **Bois et Forests des Tropiques**, v. 262, n. 4, 1999.
- BERROCAL, A. et al. Development of heartwood, sapwood, bark, pith and specific gravity of teak (*Tectona grandis*) in fast-growing plantations in Costa Rica. **Journal of Forestry Research**, 2018.
- BEZERRA, A. F. **MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE**. 2009. 2009.
- BHAT, K. M.; PRIYA, P. B.; RUGMINI, P. Characterisation of juvenile wood in teak. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 6, p. 517–532, 2001.

BOTOSSO, P. C. Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. **Embrapa Florestas**, 2009.

BOVI, R. C. et al. Application of growth rings and scars in exposed roots of *Schizolobium parahyba* as a tool for dating geomorphic processes in the State of São Paulo, Brazil. **Dendrochronologia**, v. 50, n. April, p. 1–9, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.04.002>>.

CÁCERES FLORESTAL. Manual do Cultivo da Teca. p. 32, 2006. Disponível em: <http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf>.

CÂMARA, A. P. et al. Metodologias de determinação da área de cerne e circularidade de teca consorciada com café. In: III CBCTEM, **Anais...**2017.

CARDOSO, S. et al. Anatomical variation of teakwood from unmanaged mature plantations in East Timor. **Journal of Wood Science**, v. 61, n. 3, p. 326–333, 2015.

CASTRO, V. R. de. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var . *hondurensis* Barr . et Golf . e *Tectona grandis* (L . f .).** 2011. 2011.

CASTRO, V. R. de et al. AVALIAÇÃO DO PERFIL RADIAL DO LENHO DE ÁRVORES DE TECA (*Tectona grandis* L.f.), ATRAVÉS DA TOMOGRAFIA DE IMPULSO. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 144–152, 2011.

CHAGAS, M. P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP.** 2009. 2009.

CHAGAS, S. F. et al. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste. **Ciência da Madeira**, v. 5, n. 2, p. 138–150, 2014.

CHAVES, A. G. S. **Modelagem do Crescimento e da Produção de *Tectona grandis* Linn.F. Até a idade de Rotação.** 2013. 2013.

DA CRUZ, J. P. et al. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Arvore**, v. 32, n. 5, p. 821–828, 2008.

DANIELLI, D. **Densidade Da Madeira E Potencial Dendrocronológico De Espécies Nativas Da Floresta Ombrófila Mista.** 2017. 2017.

DE CASTRO, V. R. **Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.**Tese, 2014. .

- DE MICCO, V. et al. From xylogenesis to tree rings: Wood traits to investigate tree response to environmental changes. **IAWA Journal**, v. 40, n. 2, p. 155–182, 2019.
- DÉTIENNE, P. Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 2, p. 123–132, 1989.
- DIONIZIO, A. et al. Avaliação dos anéis de crescimento no lenho de *Tectona grandis* L. f. **III CBCTEM**, 2017.
- DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso - Brasil**. 2004. 2004.
- DRESCHER, R. et al. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 2, p. 65–70, 2014.
- ECKSTEIN, D. Change in past environments - Secrets of the tree hydrosystem. **New Phytologist**, v. 163, n. 1, p. 1–4, 2004.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** Embrapa Solos. [s.l.: s.n.].
- FERNÁNDEZ-SÓLIS, D.; BERROCAL, A.; MOYA, R. Heartwood formation and prediction of heartwood parameters in *Tectona grandis* L.f. trees growing in forest plantations in Costa Rica. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 335, p. 25–37, 2018.
- FIGUEIREDO, E. O. AVALIAÇÃO DE POVOAMENTOS DE TECA (*Tectona*. 2005.
- FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, A. D. de; SCOLFORO, J. R. S. Análise econômica de povoamentos de *Tectona grandis* L.f., na microrregião do baixo Rio Acre. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 342–353, 2005.
- FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, L. C. de; BARBOSA, L. K. F. Teca: Principais Perguntas do Futuro Empreendedor Florestal. **Embrapa Acre. Documentos**, **97**, v. IV, p. 87, 2005.
- FIGUEIREDO, E. O.; SÁ, C. P. de. Silvicultura e Manejo de Povoamentos de Teca (*Tectona grandis* L.f.). **Embrapa**, p. 127, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/fale-conosco>>.
- FLÓREZ, J. B. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L.f.)**. 2012. 2012. Disponível em: <<http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/JeimyBlanco-BDTD.pdf>>.
- FRITZONS, E. et al. Zoneamento climático para plantio experimental de *Pinus maximinoi* no Estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 79–92, 2012.
- GAITAN-ALVAREZ, J.; MOYA, R.; BERROCAL, A. The use of X-ray densitometry to evaluate the wood density profile of *Tectona grandis* trees growing in fast-growth plantations. **Dendrochronologia**, v. 55, n. April, p. 71–79, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.04.004>>.

GONZÁLEZ, A. D. V. **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP Pira.** 2013. 2013.

GROENENDIJK, P. et al. No evidence for consistent long-term growth stimulation of 13 tropical tree species: Results from tree-ring analysis. **Global Change Biology**, v. 21, n. 10, p. 3762–3776, 2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório 2017. **Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ**, p. 80, 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório 2019. **Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ**, p. 80, 2019.

ITTO. **Biennial review and assessment**. [s.l.: s.n.]

JAYASANKAR, S. et al. Evaluation of provenances for seedling attributes in teak (*Tectona grandis* LINN.F.). **Silvae Genetica**, v. 48, n. 3–4, p. 115–122, 1999.

KAOSA-ARD, A. Teak its natural distribution and related factors. **Nat His Bull Siam Soc**, v. 29, p. 55–74, 1989.

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

KOKUTSE, A. D. et al. Which factors most influence heartwood distribution and radial growth in plantation teak? **Annals of Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 407–407, 2010. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/openurl.asp?id=doi:10.1051/forest/2009127>>.

KOLLERT, W.; CHERUBINI, L. TEAK RESOURCES AND MARKET ASSESSMENT 2010. **FAO**, v. 3, p. 42, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>>.

KOONKHUNTHOD, N.; SAKURAI, K.; TANAKA, S. Composition and diversity of woody regeneration in a 37-year-old teak (*Tectona grandis* L.) plantation in Northern Thailand. **Forest Ecology and Management**, v. 247, n. 1–3, p. 246–254, 2007.

KRISHNAPILLAY, B. Silvicultura y ordenación de plantaciones de teca. **Unasyuva**, v. 51, p. 14–21, 2000.

LEITE, H. G. et al. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* L.f. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 89, p. 53–59, 2011.

LIMA, I. L. de et al. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 39, n. 89, p. 61–68, 2011.

- LISI, C. S. et al. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in Southeast Brazil. **IAWA Journal**, v. 29, n. 2, p. 189–207, 2008.
- LUCAS, C. et al. Effect of climate on tree growth in the Pampa biome of Southeastern South America: First tree-ring chronologies from Uruguay. **Dendrochronologia**, v. 52, n. February, p. 113–122, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.004>>.
- MACEDO, R. L. G. et al. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L.f. (teca) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 61–69, 2005. Disponível em: <http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18450/Cerne_v11_n1_p61-69_2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- MALAN, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. **Anais do Seminário Internacional de Utilizacao da Madeira para Serraria**, p. 1–19, 1990.
- MEDEIROS, R. A. et al. Growth and Structural Development of *Tectona grandis* in Different Cultivation Systems in Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 8, p. 138, 2019. Disponível em: <<http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39673>>.
- MELO, L. E. de L. et al. PREDICTION OF MICROFIBRIL ANGLE FOR EUCALYPTUS MICROCORYS 4 WOOD BY FIBER LENGTH AND BASIC DENSITY. **Maderas**, v. 20, p. 1–10, 2018.
- MOYA, R. et al. Radial variation of anatomical features, wood density and decay resistance in teak (*Tectona grandis*) from two qualities of growing sites and two climatic regions of Costa Rica. **Forest Systems**, v. 18, n. 2, p. 119, 2009. Disponível em: <<http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/1055>>.
- MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 411–433, 2014.
- MOYA, R.; TOMAZELLO FILHO, M. WOOD DENSITY VARIATION AND TREE RING DEMARCATION IN *Gmelina arborea* TREES USING X-RAY DENSITOMETRY. **Cerne**, v. 15, n. 1, p. 92–100, 2009.
- NASCIMENTO, M. da S. **Modelos Não Lineares na descrição do crescimento de frutos de Cacaueiros**. 2014. 2014.
- NOCETTI, M. et al. Provenance effect on the ring structure of teak (*Tectona grandis* L.f.) wood by X-ray microdensitometry. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 8, p. 1375–1383, 2011.

NÖLTE, A.; MEILBY, H.; YOUSEFPOUR, R. Multi-purpose forest management in the tropics: Incorporating values of carbon, biodiversity and timber in managing *Tectona grandis* (teak) plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 422, n. April, p. 345–357, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.036>>.

OLIVEIRA, B. R. de. **DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE CERNE PRODUZIDO EM ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. EM MATO GROSSO**. 2014. 2014.

OLIVEIRA, B. R. U. de. **Correlações dendroclimatológicas do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na região de Rio Claro, RJ**. 2008. 2008.

OLIVEIRA, B. R. U. de. **Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de *Tectona grandis* L.f., do município de Cáceres, MT**. 2011. 2011.

OLIVEIRA, I. R. de. **Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos**. 2015. 2015.

PACHAS, A. N. A. et al. Teak (*Tectona grandis*) silviculture and research: applications for smallholders in Lao PDR. **Australian Forestry**, v. 82, n. sup1, p. 94–105, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1610215>>.

PAGOTTO, M. A. et al. Evaluation of X-ray densitometry to identify tree-ring boundaries of two deciduous species from semi-arid forests in Brazil. **Dendrochronologia**, v. 42, n. November, p. 94–103, 2017.

PALANISAMY, K.; HEGDE, M.; YI, J.-S. Teak (*Tectona grandis* Linn. f.): A Renowned Commercial Timber Species. **Journal of Forest and Environmental Science**, v. 25, n. 1, p. 1–24, 2009.

PANDEY, D.; BROWN, C. La teca: una visión global. **Unasylva**, v. 51, n. 201, p. 3–13, 2000.

PEREIRA, M. D. C. S. Produção e consumo de produtos florestais: perspectivas para a região sul com ênfase em Santa Catarina. **Brde/Agflo/Gepla**, 2003. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Produção+e+Consumo+de+Produtos+Florestais:+perspectivas+para+a+Região+Sul+com+ênfase+em+Santa+Catarina#0>>.

PÉREZ CORDERO, 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**, v. 37, n. 1, p. 45–54, 2003.

PÉREZ, D.; KANNINEN, M. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 210, n. 1–3, p. 425–441, 2005.

POLGE, H. Fifteen years of wood radiation densitometry. **Wood Science and Technology**, v. 12, n. 3, p. 187–196, 1978.

- POLGE, H.; ILLY, G. Observations sur l'anisotropie du Pin maritime des Landes. **Annales des sciences forestières, Inra/EDP Sciences**, v. 24, n. 3, p. 205–231, 1967.
- PRIYA, P. B.; BHAT, K. M. False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.f.) and the influence of environmental factors. **Forest Ecology and Management**, v. 108, n. 3, p. 215–222, 1998.
- PUMIJUMNONG, N. Dendrochronology in Southeast Asia. **Trees - Structure and Function**, v. 27, n. 2, p. 343–358, 2013.
- RICHTER, H.G., and DALLWITZ, M.J. (2000 onwards). **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 9th April 2019. Disponível em: <delta-intkey.com>.
- RIZANTI, D. E. et al. Comparison of teak wood properties according to forest management: short versus long rotation. **Annals of Forest Science**, v. 75, n. 2, 2018.
- ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Relationships between anatomical features and intra-ring wood density profiles in *Gmelina arborea* applying X-ray densitometry. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 384–392, 2007.
- ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. [s.l: s.n.]v. 1
- SCHINKER, M. G.; HANSEN, N.; SPIECKER, H. High-frequency densitometry - A new method for the rapid evaluation of wood density variations. **IAWA Journal**, v. 24, n. 3, p. 231–239, 2003.
- SCHUHLLI, G. S. e; PALUDZYSZYN FILHO, E. O cenário nacional da silvicultura de teca (*Tectona grandis* L. f.) e perspectivas de melhoramento. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 217–230, 2010.
- SEGURA, C. E. C. et al. Caracterización anatómica radial y axial de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) plantada en Chanchamayo – Perú. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 11, n. 2, p. 107–120, 2020.
- SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. de. **Diagnóstico das Plantações Florestais em Mato Grosso**. [s.l: s.n.]
- SILVA, F. R. da. Crescimento e produção de *Tectona grandis* L.f em um plantio no município de Alta Floresta – MT. **Dissertação**, p. 94, 2012.
- SILVA, R. S. da et al. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L. f. em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. **Floram**, v. 23, n. 3, p. 397–405, 2016.
- SOUSA, V. B. et al. Growth rate and ring width variability of teak, *Tectona grandis* (Verbenaceae) in an unmanaged forest in East Timor. **Revista de Biologia Tropical**, v. 60, n. 1, p. 483–494, 2012.

- SOUSA, V. B.; LOUZADA, J. L.; PEREIRA, H. Age trends and within-site effects in wood density and radial growth in *Quercus faginea* mature trees. **Forest Systems**, v. 25, n. 1, 2016.
- SOUSA, V. B.; LOUZADA, J. L.; PEREIRA, H. Variation of Ring width and wood density in two unmanaged stands of the Mediterranean Oak *Quercus faginea*. **Forests**, v. 9, n. 1, p. 1–10, 2018.
- STAHLE, D. W. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 249–253, 1999.
- STRECK, D. G. et al. Acurácia da análise de tronco para obtenção da altura de árvores de *Tectona grandis*. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 2, p. 345–350, 2018. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/6182/pdf>>.
- SURDI, P. G. et al. Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 42, n. 102, p. 229–236, 2014.
- TEWARI, V. P.; SINGH, B. A first-approximation simple dynamic growth model for forest teak plantations in Gujarat state of India. **Southern Forests**, v. 80, n. 1, p. 59–65, 2018.
- THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. Mechanical properties and wood structure characteristics of 35-year old home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India in comparison with plantation teak. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 9, n. 1, p. 23–32, 2012.
- TOMAZELLO FILHO, M. VARIAÇÃO RADIAL DA DENSIDADE BÁSICA E DA ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA DO *Eucalyptus saligna* E *E. grandis*. **Ipef**, v. 29, n. Abril, p. 37–45, 1985.
- TOMAZELLO FILHO, M. et al. Application of x-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 139–149, 2008.
- TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCWENGBER, L. A. M. Crescimento da Teca (*Tectona grandis*) em Reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 0, n. 59, p. 5–14, 2010.
- TEAK RESOURCES CO., 2019. Disponível em <<https://www.teakrc.com/wp-content/uploads/2019/08/Teak-Resources-Co-Wood.jpg>>. Acesso em maio 2020.
- TSUKAMOTO FILHO, A. de A. et al. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 487–494, 2003.
- UGULINO, B.; LATORRACA, J. V. de F.; TOMAZELLO FILHO, M. Tree-ring growth response of teak (*Tectona grandis* L. f.) to climatic variables in central-west region of Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 473–482, 2014.
- VENDRUSCOLO, D. G. S. MODELAGEM APLICADA AO MANEJO DE

POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L.f EM MATO GROSSO. p. 103, 2017. Disponível em:

<<http://www.ufmt.br/ufmt/unidade/userfiles/publicacoes/2e9cdcfefce56683767669d4543b15ed.pdf>>.

VIEIRA, A. H. et al. Sistema de produção de teca para o Estado de Rondônia. **Sistemas de Produção / Embrapa Rondônia**, 2007.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 39, n. 3, p. 381–390, 2005.

WIMMER, R. INTRA-ANNUAL CELLULAR CHARACTERISTICS AND THEIR IMPLICATIONS FOR MODELING SOFTWOOD DENSITY. **Wood and Fiber Science**, v. 27, n. 4, p. 413–420, 1995.

YANG, B. et al. Horizontal and vertical distributions of heartwood for teak plantation. **Forests**, v. 11, n. 2, 2020.

ANEXOS

Variação de cerne e alburno nas 4 áreas de estudo

Local		Amostras	Idade	DAP (cm)	Altura (m)	Vol. Cerne (m³)	% Cerne	Vol. Alburno (m³)	% Alburno
Rosário Oeste - MT	A	TP5	18,7	33,27	13,50	0,391	54,8	0,320	45,2
	A	TP6	18,7	32,95	17,55	0,505	55,0	0,380	45,0
	A	TP7	18,7	32,77	14,85	0,476	57,0	0,326	43,0
	A	TP9	18,7	34,24	16,20	0,528	59,4	0,421	40,6
	A	TP10	18,7	33,04	13,50	0,425	55,6	0,350	44,4
Porto Espiridião - MT	B	T51	14,4	27,69	13,50	0,198	42,1	0,272	57,9
	B	T52	14,4	28,40	14,85	0,279	46,3	0,323	53,7
	B	T53	14,4	28,25	17,55	0,315	53,0	0,280	47,0
	B	T54	14,4	28,91	16,20	0,291	47,5	0,322	52,5
	B	T55	14,4	28,20	16,20	0,306	50,7	0,298	49,3
Glória D'Oeste - MT	C	TM1	9,5	22,34	13,50	0,135	41,4	0,191	58,6
	C	TM2	9,5	22,20	13,50	0,127	40,1	0,190	59,9
	C	TM3	9,5	21,34	13,50	0,088	28,4	0,222	71,6
	C	TM4	9,5	20,33	14,85	0,083	28,9	0,203	71,1
	C	TM5	9,5	20,75	12,15	0,096	34,3	0,184	65,7
Angatuba - SP	D	1011	9,4	13,98	6,75	0,012	14,4	0,074	85,6
	D	1016	9,4	14,76	6,75	0,037	36,5	0,065	63,5
	D	1021	9,4	15,27	6,75	0,018	16,2	0,091	83,8
	D	1026	9,4	15,00	6,75	0,023	23,3	0,077	76,7
	D	1031	9,4	15,03	6,75	0,037	35,3	0,068	64,7

Angatuba - SP

Porto Espiridião - MT

Glória D'Oeste - MT

Rosário Oeste - MT

Angatuba - SP

Porto Espiridião - MT

Glória D'Oeste - MT

Rosário Oeste - MT