

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Arielle Kathyelen de Oliveira

Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 8 anos

Curitibanos, SC

2022

Arielle Kathyelen de Oliveira

Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 8 anos

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.
Orientadora: Profª. Drª. Karina Soares Modes

Curitibanos, SC

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Arielle Kathyelen de
Propriedades físicas e mecânicas da madeira de
Liquidambar styraciflua L. aos 8 anos / Arielle Kathyelen
de Oliveira ; orientadora, Karina Soares Modes, 2022.
42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Espécie potencial. 3.
Diversificação do setor florestal. 4. Densidade. 5.
Cisalhamento. I. Modes, Karina Soares. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Florestal. III. Título.

Arielle Kathyelen de Oliveira

Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 8 anos

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 16 de fevereiro de 2022.



Documento assinado digitalmente
Marcelo Bonazza
Data: 16/02/2022 14:16:33-0300
CPF: 047.641.899-25
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Marcelo Bonazza
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Karina Soares Modes
Data: 16/02/2022 10:39:51-0300
CPF: 003.082.240-86
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Dr^a. Karina Soares Modes
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Magnos Alan Vivian
Data: 16/02/2022 10:43:00-0300
CPF: 007.088.210-06
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Magnos Alan Vivian
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Kelen Haygert Lencina
Data: 16/02/2022 10:57:18-0300
CPF: 011.476.600-26
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Dr^a. Kelen Haygert Lencina
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a Deus, aos meus queridos pais Cleidimar e Simone, e aos meus irmãos Kelvin e Kywane.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha vida, por guiar e iluminar meus caminhos, por estar comigo em todo momento me ajudando a enfrentar todo e qualquer obstáculo ao longo da graduação, permitindo que eu chegasse até esse momento, me ensinando sempre a ser forte e corajosa.

Aos meus queridos pais Cleidimar de Oliveira e Simone Aparecida dos Santos Oliveira, que me apoiaram em todo momento, por todas as palavras de amor e carinho, pela paciência, dedicação e por não medirem esforços para que esse sonho se realizasse.

Aos meus irmãos Kelvin de Oliveira e Kywane Kaellen Oliveira, por todo o incentivo, amizade e companheirismo, por estarem sempre dispostos a me ajudar em tudo que precisei.

Aos meus familiares, que sempre torceram por mim, estando dispostos a ajudar sempre que fosse necessário.

Aos meus amigos, em especial a Amanda Fernandes de Castro, pela amizade, pelo incentivo e bons momentos de conversas compartilhadas.

À minha orientadora, Karina Soares Modes, por me aceitar como sua orientada, por todo o incentivo, dedicação e conhecimento transmitido com muito carinho, dando todo o suporte para que este trabalho se realizasse.

À professora Glória Regina Botelho, por me proporcionar imenso conhecimento ao longo desses anos, pelas oportunidades de estágio, e também por todo o incentivo.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela formação de qualidade.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

Muito Obrigada!

“Tudo posso naquele que me fortalece.” (FILIPENSES 4:13)

RESUMO

No Brasil as florestas plantadas são responsáveis por fornecer quase toda a madeira utilizada para fins industriais, não havendo muita variação de espécies utilizadas, sendo empregadas em larga escala os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Assim, são importantes estudos que visem a caracterização anatômica, química, física e mecânica de madeiras alternativas para a diversificação do setor florestal. Dentre as espécies alternativas destaca-se o *Liquidambar styraciflua*, uma folhosa que tem mostrado em alguns estudos excelente adaptação, principalmente nos estados do sul e sudeste do país. Em função disso o objetivo desse trabalho foi caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *L. styraciflua* aos 8 anos, almejando um maior conhecimento dessa espécie para um melhor uso frente ao setor florestal. Para a condução do estudo foram amostradas 5 árvores de *L. styraciflua* no município de Curitiba- SC, de cada árvore foram extraídos discos da posição correspondente ao DAP (diâmetro a altura do peito) para a condução dos ensaios físicos (estabilidade dimensional, densidade básica e massa específica aparente a 0%, 12% de umidade e verde) e toretes de 1,3 m de comprimento para a caracterização mecânica (flexão estática e cisalhamento). A madeira avaliada apresentou uma densidade básica de $0,48 \text{ g/cm}^3$, o que permite classificar a madeira de *L. styraciflua* como de média densidade. Foi registrada uma massa específica aparente verde, a 12% e a 0% de umidade, de $1,12 \text{ g/cm}^3$, $0,61 \text{ g/cm}^3$ e $0,57 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Os percentuais médios de contração volumétrica, tangencial e radial foram 16,46%, 11,27% e 4,30% respectivamente, com um coeficiente de anisotropia total de 2,66, o que reflete uma madeira de baixa estabilidade dimensional. Com relação as propriedades mecânicas, a madeira apresentou uma resistência (MOR) e rigidez (MOE) média nos testes de flexão estática de $72,65 \text{ N/mm}^2$ e $7.796,52 \text{ N/mm}^2$, respectivamente. Já para a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras a madeira apresentou um valor médio de $12,38 \text{ N/mm}^2$. Os valores de resistência e rigidez registrados foram próximos ao encontrado na literatura para a espécie, porém mostraram-se inferiores ao relatado para espécies do gênero *Eucalyptus*. A madeira de liquidambar apresenta potencial, sendo uma espécie alternativa, para suprir a demanda futura do mercado florestal, no entanto deve-se ter um maior cuidado na escolha de programas de secagem específicos para que não ocorram defeitos que prejudiquem sua aplicação.

Palavras-chave: Espécie potencial. Diversificação do setor florestal. Densidade. Cisalhamento.

ABSTRACT

In Brazil, planted forests are responsible for supplying almost all the wood used for industrial purposes, with little variation in the species used, with the genus *Pinus* and *Eucalyptus* being used on a large scale. Thus, studies that aim at the anatomical, chemical, physical and mechanical characterization of alternative woods are important for the diversification of the forestry sector. Among the alternative species, *Liquidambar styraciflua* stands out, a hardwood that has shown excellent adaptation in some studies, mainly in the southern and southeastern states of the country. As a result, the objective of this work was to characterize the physical and mechanical properties of *L. styraciflua* wood at 8 years of age, aiming for a better knowledge of this species for a better use in the forestry sector. To conduct the study, 5 trees of *L. styraciflua* were sampled in the city of Curitibanos-SC, from each tree discs were extracted from the position corresponding to the DBH (diameter at breast height) for conducting the physical tests (dimensional stability, basic density and apparent specific mass (0%, 12%, green)) and 1,3 m long logs for mechanical characterization (static bending and shear). The wood evaluated presented a basic density of 0,48 g/cm³, which allows classifying the wood of *L. styraciflua* as medium density. A green apparent specific mass was recorded at 12% and 0% moisture, of 1,12 g/cm³, 0,61 g/cm³ and 0,57 g/cm³ respectively. The average percentages of volumetric, tangential and radial shrinkage were 16,46%, 11,27% and 4,30% respectively, with a total anisotropy coefficient of 2,66, which reflects a wood with low dimensional stability. Regarding the mechanical properties, the wood presented an average strength (MOR) and stiffness (MOE) in the static bending tests of 72,65 N/mm² and 7,796.52 N/mm², respectively. As for the shear strength parallel to the fibers, the wood presented an average value of 12,38 N/mm². The strength and stiffness values recorded were close to those found in the literature for the species, but were lower than those reported for species of the genus *Eucalyptus*. Liquidambar wood has potential, being an alternative species, to supply the future demand of the forest market, however, greater care must be taken in choosing specific drying programs so that no type of defect that impairs its application occurs.

Keywords: Potential species. Diversification of the forest sector. Density. Shear.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Detalhe das folhas de <i>L. styraciflua</i>	17
Figura 2 – Aspectos das folhas de <i>L. styraciflua</i> no outono.....	18
Figura 3 – Ensaio mecânico de flexão estática.....	22
Figura 4 – Ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento.....	23
Figura 5 – Discos amostrados no DAP (A). Toretos de 1,3 m de comprimento (B).....	24
Figura 6 – Corpos de prova em câmara climática (A). Corpos de prova em estufa de circulação forçada de ar (B).	26
Figura 7 – Ensaio mecânico de flexão estática.....	28
Figura 8 – Ensaio mecânico de cisalhamento.....	29
Figura 9– Aspecto dos corpos de prova após teste de flexão estática.	33
Figura 10– Aspecto dos corpos de prova após ensaio de cisalhamento.....	34
Figura 11– Regressão linear relacionando massa específica aparente a 12% de umidade dos corpos de prova e o módulo de ruptura à flexão estática.	35
Figura 12– Regressão linear relacionando massa específica aparente a 12% de umidade dos corpos de prova e a resistência ao cisalhamento.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Valores referentes as propriedades físicas da madeira de <i>Liquidambar styraciflua</i>	30
Tabela 2– Valores referentes ao ensaio de flexão estática para a espécie <i>Liquidambar styraciflua</i>	32
Tabela 3– Valores referentes ao ensaio de cisalhamento para a espécie <i>Liquidambar styraciflua</i>	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	<i>Liquidambar styraciflua L.</i>	17
2.2	PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	19
2.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	21
3	METODOLOGIA	24
3.1	COLETA E PREPARO DO MATERIAL	24
3.2	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS	24
3.3	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	27
3.4	ANÁLISE DOS DADOS.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	PROPRIEDADES FÍSICAS	30
4.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS	32
5	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Devido o Brasil ser detentor de uma extensa cobertura vegetal, por muito tempo espécies madeireiras nativas foram extraídas para suprir a demanda da indústria de base florestal e isso claramente levou a devastação de enormes áreas de florestas, bem como a escassez de produtos. Como o país possui excelentes características edafoclimáticas (solo e clima) para a silvicultura, a alternativa foi introduzir espécies exóticas com alta capacidade de adaptação, visando aumentar os estoques madeireiros, uma vez que são representadas por espécies de rápido crescimento e de madeira de qualidade compatível para abastecimento de indústrias que fazem uso da madeira sólida ou na forma reconstituída (SANTINI; HASELEIN; GATTO, 2000; MOREIRA; OLIVEIRA, 2017).

Além disso, essas madeiras provenientes de reflorestamento contribuem inclusive na contenção do desmatamento, ocupando cerca de 9,55 milhões de hectares, sendo responsáveis por fornecer quase toda a madeira utilizada para fins produtivos no país (IBÁ, 2021). Atualmente os principais gêneros exóticos plantados no Brasil são *Pinus* e *Eucalyptus*, sobre os quais o setor florestal tem estado restrito. Esses gêneros são os principais fornecedores de matéria prima, pois apresentam rápido crescimento e facilidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo, além da grande flexibilidade de usos e aplicações de suas madeiras (REZENDE *et al.*, 2007; BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010).

Segundo dados da Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR, 2019), no estado de Santa Catarina predomina o plantio de *Pinus*, conífera que apresenta grande destaque em área plantada em função das condições edafoclimáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, além de mercado consumidor.

Visando a diversificação de espécies, suprimento das indústrias, bem como da produção de matéria prima de qualidade, o uso de espécies alternativas tem se destacado, apresentando uma importância econômica crescente (CHIES, 2005; FREITAS *et al.*, 2015). Entre essas espécies alternativas destaca-se o *Liquidambar styraciflua*, árvore exótica que tem mostrado excelente capacidade de adaptação e boas características para ser utilizada como alternativa para suprir a demanda futura de madeira serrada.

A madeira dessa folhosa apresenta alta qualidade, sendo de textura uniforme, dureza e densidade média e facilidade de ser polida, além disso, a espécie possui inúmeros usos, sendo muito apreciada nos Estados Unidos para a produção de madeira serrada (SHIMIZU; SPIR, 2004; SHIMIZU, 2005). Como no Brasil a espécie é pouco estudada, tornam-se importantes

estudos que visem a avaliação de suas características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas e que garantam seu melhor uso frente a indústria de base florestal, pois de acordo com Lima, Freitas e Garcia (2013), a espécie apresenta excelente potencial para as regiões sul e sudeste do país.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. aos 8 anos de idade.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a madeira quanto às contrações lineares e volumétrica total, e coeficiente de anisotropia;
- Determinar a densidade básica, massa específica da madeira verde, a 12% de umidade, e da madeira anidra;
- Determinar a resistência e rigidez da madeira submetida ao ensaio de flexão estática;
- Determinar a resistência da madeira aos esforços de cisalhamento paralelo às fibras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Liquidambar styraciflua* L.

O *Liquidambar styraciflua* L. é uma espécie arbórea, folhosa, e uma dicotiledônea pertencente à família Hamamelidacea, nativa da América do Norte e América Central, com ampla distribuição geográfica natural que abrangem as regiões do leste e sudeste dos Estados Unidos, se estendendo para o sul, chegando ao México, até alguns países da América Central (KAILL FILHO; WENDLING; TRACZ, 2007; BARIL, 2013; FREITAS *et al.*, 2017).

A espécie é conhecida pelo seu nome popular de “goma doce” ou em inglês “sweet gum” em função da seiva exalada de sua casca que apresenta uma cor amarelada semelhante ao mel, que ao ser submetida a fervura torna-se um líquido balsâmico, sendo inclusive amplamente utilizada para fins medicinais desde a antiguidade. (SHIMIZU, 2005, p. 129).

“Além do exsudado balsâmico extraído da sua casca, a espécie é muito aromática e produz óleo essencial podendo também ser empregada na indústria de perfumes.” (MATTOS *et al.*, 2001, p. 2).

Para Lorenzi *et al.* (2003, p. 148):

Se trata de uma árvore caducifólia, monóica, de 25-20 m de altura, de tronco ereto, com casca-pardo acinzentada nas plantas jovens, mais escura e muito fendida longitudinal e transversalmente nas plantas adultas. Forma uma copa cônica ou piramidal. Folhas simples, aglomeradas na extremidade dos ramos, alternas, com pecíolo longo, palmatilobadas, com 5-7 recortes (lobos) agudos, verde-brilhantes e de margens serrilhadas, de 6-12 cm de comprimento (Figura 1). Frutos do tipo cápsula globosa, espinescentes, com sementes pequenas, aladas.

Figura 1 – Detalhe das folhas de *L. styraciflua*.



Fonte: O autor (2022).

“Esta espécie apresenta um rápido crescimento, podendo viver em torno de 200 anos, e a sua maturidade reprodutiva é atingida com cerca de 20-30 anos de desenvolvimento.” (FRANCO, 2013, p. 48).

“Em regiões frias, a folhagem apresenta coloração amarela e avermelhada no outono (Figura 2), proporcionando um efeito visual muito atraente.” (SHIMIZU, 1998, p. 67). No entanto apesar disso Shimizu (2005, p. 130) esclarece que:

Seu uso em arborização urbana deve ser restrito e feito somente sob um planejamento cuidadoso, visto que podem atingir mais de 20 metros de altura, além de produzir um grande número de infrutescências que, uma vez depositadas no chão, podem se tornar inconvenientes.

Figura 2 – Aspectos das folhas de *L. styraciflua* no outono.



Fonte: Queridas Plantas (2022).

“Uma característica importante dessa árvore é a sua capacidade de se desenvolver em solos úmidos e regiões de ocorrência de geadas, onde a maioria das espécies arbóreas não teria condições de prosperar.” (FRANCO, 2013, p. 47).

A raiz do liquidambar em solos com boa drenagem são pivotantes vigorosas, tornando as árvores muito resistentes ao vento. No entanto em solos com drenagem deficiente, o sistema radicular se espalha, com pouca profundidade, tornando as árvores propensas ao tombamento pelo vento (SHIMIZU, 2005, p. 132).

Com relação aos usos e finalidades dessa espécie, já foi mencionado sua importância medicinal, na arborização urbana, em função da sua beleza, bem como na indústria de perfumes. No entanto cabe destacar que a madeira de liquidambar possui alta qualidade, sendo de textura uniforme, dureza e densidade média, além da facilidade de ser polida, proporcionando, deste modo, muitos outros usos como móveis, caixaria, paletes, dormentes, polpa celulósica e até mesmo lenha (SHIMIZU, 1998; MATTOS *et al.*, 2001; SHIMIZU, 2005).

Contudo a atividade mais atrativa para essa espécie é o fornecimento de madeira de alto valor econômico, para a produção de madeira serrada e laminada (SHIMIZU, 2005; FRANCO, 2013).

No Brasil, *L. styraciflua* foi introduzida no ano de 1970, tratando-se nesse sentido de uma espécie exótica no país (KAILL FILHO; WENDLING; TRACZ, 2011; BARIL, 2013). Segundo Shimizu (1998) em plantios experimentais na cidade de Agudos, SP, a folhosa atingiu altura e diâmetro médio à altura do peito (DAP) de 13,6 m e 13,6 cm, respectivamente, aos 9 anos, já no sudoeste do Paraná, seu crescimento médio foi de 20,8 m de altura e 23,8 cm de DAP, aos 11 anos de idade.

Mesmo que ainda existam poucos estudos sobre *L. styraciflua* no país, os resultados obtidos já comprovam seu grande potencial e adaptação nas regiões Sul e Sudeste, bem como seu grande aproveitamento madeireiro, pois apresenta fuste retilíneo e suas propriedades apresentam poucas variações, ao longo do tronco da árvore (SHIMIZU, 2005; LIMA; FREITAS; GARCIA, 2013). Em função disso o uso do liquidambar em reflorestamentos, pela indústria madeireira brasileira seria uma alternativa proveitosa e lucrativa, diminuindo o uso de árvores do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, sob qual o setor florestal se encontra restrito, além de contribuir com a preservação das florestas nativas (ZANON *et al.*, 2009).

2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

2.2.1 Densidade e retratibilidade

O conhecimento e a caracterização das propriedades físicas das madeiras estão entre as de maior importância, sendo imprescindível para definir adequadamente a utilização e aplicação final dos produtos florestais (ARAÚJO, 2007; BOTELHO, 2011; BONDUELLE *et al.*, 2015).

A massa específica ou densidade é uma quantificação de matéria lenhosa por unidade de volume, sendo o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes anatômicos, tornando-se uma das propriedades mais importantes da madeira, a sua determinação é simples e fornece inúmeras informações sobre as características da mesma, em função da sua íntima relação com as outras propriedades, o que a torna um parâmetro muito utilizado para classificar e qualificar a madeira (SILVA *et al.*, 2004; TREVISAN *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

De acordo com Chies (2005) dentre as propriedades que a massa específica exerce influência aponta-se: a higroscopicidade, a contração e o inchamento (retratibilidade), as propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas, e outras propriedades básicas, bem como as propriedades relacionadas ao processamento industrial da madeira.

“Em regra geral, madeiras de maior densidade são mais resistentes, rígidas e duras em relação as que são mais leves. Porém, em paralelo a estas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade” (MORESCHI, 2014, p. 9).

Essa propriedade pode apresentar valores distintos entre as espécies, entre árvores de uma mesma espécie e, até mesmo, dentro de uma mesma árvore, tanto no sentido longitudinal (base-topo), quanto no sentido radial (medula-casca), em consequência da madeira ser um material que está sempre em constante desenvolvimento, então ela jamais irá fornecer valores fixos e constantes (REZENDE; SAGLIETTI; GUERRINI, 1995; MIRANDA *et al.*, 2012; SILVA, 2013).

“A massa específica da madeira está intimamente ligada ao seu teor de umidade em função das alterações de massa e volume” (REZENDE; SAGLIETTI ; GUERRINI, 1995, p. 2). Portanto, segundo Silva *et al.* (2004), Campos *et al.* (2008) e Botelho (2011), analisar a massa específica da madeira isoladamente, não é suficiente para uma adequada definição de usos, sendo importante relacionar com o estudo do teor de umidade, bem como das variações dimensionais (linear e volumétrica), para o complemento da informação. “Nesse sentido outra característica da madeira, comumente utilizada como índice de qualidade é a retratibilidade” (RODRIGUES *et al.*, 2008, p. 148).

A retratibilidade refere-se à movimentação da madeira em decorrência da alteração do teor de umidade, esse fenômeno ocorre devido a madeira ser um material higroscópico, sendo capaz de absorver ou perder água para o meio que a envolve (GUMA, 2013; FREITAS *et al.*, 2016). As variações das dimensões das peças de madeira alteram-se quando há perda ou ganho de umidade, a partir do ponto de saturação das fibras (PSF), umidade que se dá entre 28 e 30%, portanto ao aumentar o teor de umidade no intervalo de 0% ao PSF as dimensões da madeira aumentam (inchamento), e ao diminuir o teor de umidade do PSF a 0%, ou seja, quando a madeira é reduzida até a condição de seca ou anidra, as dimensões diminuem (retração), e esses são os dois sentidos da estabilidade dimensional (LOGSDON, 1998; BOTELHO, 2011; GUMA, 2013; ALMEIDA, 2015).

“A madeira também se apresenta como um material anisotrópico, ou seja, comporta-se de maneira diferente nos seus três sentidos anatômicos” (FREITAS, 2016, p. 25). Em

decorrência dessa característica a madeira tende a apresentar um comportamento desigual de variação dimensional, predominando no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pelas variações no sentido radial, em geral a variação tangencial chega a alcançar o dobro da radial, no entanto a variação é quase inexistente no sentido longitudinal (OLIVEIRA; SILVA, 2003; BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010; BOTELHO, 2011).

Para Silva (2013, p. 3):

A razão entre as contrações tangencial e radial é chamada de fator ou coeficiente de anisotropia, que geralmente varia de 1,2 a 2,5, e tornou-se um índice muito importante nos estudos de contração de madeira, pois, quanto maior essa relação, maior será a tendência ao fendilhamento e ao empenamento da mesma. O fator ideal de anisotropia de um material é igual a 1, o que indicaria inexistência de alteração nas suas 4 dimensões, ou que as alterações nos seus diferentes sentidos seriam iguais.

Assim ao conhecer esse importante índice que é o fator de anisotropia, tem-se uma ideia do comportamento da madeira em relação a secagem, e a fim de diminuir as retrações da madeira que podem ocasionar em possíveis defeitos, deve-se conduzir um processo de secagem em que a madeira seja seca a um teor de umidade que corresponde ao de sua aplicação, e à do ambiente em que será utilizada (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010; FEUCHARD, 2012; MULLER *et al.*, 2014).

Contudo além do teor de umidade, da direção anatômica e da correta condução do processo de secagem já mencionados, a magnitude das alterações dimensionais da madeira dependerá de outros fatores como a posição dentro da árvore, espécie florestal, teor de extrativos, composição química, da temperatura, bem como da massa específica (CAMPOS *et al.*, 2008; FREITAS *et al.*, 2016). Cabe destacar que madeiras mais pesadas, por apresentarem maiores concentrações de células de paredes mais espessas, absorvem mais água por unidade de volume e, deste modo incham e retraem muito mais do que aquelas mais leves, daí a importância de relacionar essas duas propriedades (densidade e retratibilidade), além do teor de umidade, para uma adequada utilização da madeira (ROCHA, 2000; OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010; FREITAS *et al.*, 2016).

2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

A caracterização da madeira quanto as propriedades mecânicas indicam o seu comportamento quando submetidas a vários tipos de forças externas ou cargas, sendo fundamental tal estudo para a adequada aplicação da madeira, principalmente para os usos que

requerem uma maior resistência e rigidez (ROCHA; PAULA; SIQUEIRA 1988; ARAÚJO, 2007; BRAZ, 2011; MULLER, 2014; REBOLETO, 2016).

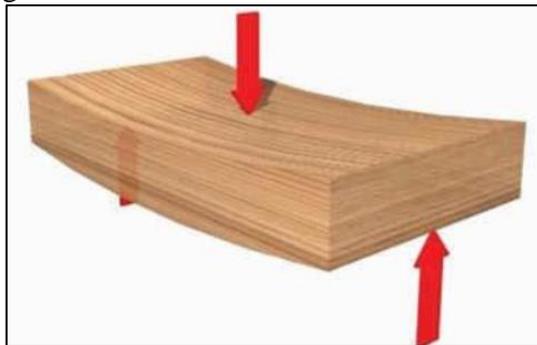
Dentre as principais propriedades mecânicas utilizadas para inferir sobre a qualidade da madeira destaca-se a flexão estática e a resistência ao cisalhamento, cujas avaliações são realizadas a partir de diferentes ensaios mecânicos (BRAZ, 2011; GUMA, 2013).

“O ensaio de flexão estática consiste na aplicação de carga a meio-vão de uma peça simplesmente apoiada nas extremidades, sendo a carga introduzida a uma velocidade constante” (RAMOS, 2009, p. 8) (Figura 3).

Para fins práticos, a madeira, até determinado ponto, apresenta uma característica elástica, onde se cessarmos a força que a deforma, ela ainda apresenta capacidade de voltar ao seu estado original. A partir do ponto em que a madeira deixa de ser elástica, ela passa a ser plástica. Ou seja, ela não apresenta mais a capacidade em retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada (STANGERLIN *et al.*, 2010, p. 72).

Em função do exposto acima, nos ensaios de flexão estática, a carga aplicada mensura a deformação até a ruptura da madeira, sendo a mesma submetida simultaneamente a forças de compressão, tração e cisalhamento, onde normalmente são avaliados dois parâmetros o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), ambos são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, pois possibilitam uma boa estimativa da resistência e rigidez do material (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004; MORESCHI, 2014; FREITAS, 2016; REBOLETO, 2016).

Figura 3 – Ensaio mecânico de flexão estática.

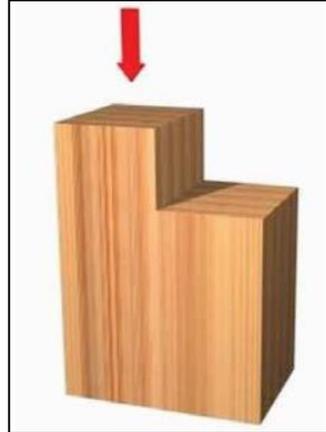


Fonte: CORMA (2011).

Outro ensaio mecânico realizado é o de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras, este mostra a capacidade da madeira de resistir a separação das suas fibras em função dos esforços contrários aplicados paralelo a elas (por deslizamento), ou seja, de maneira geral nesse teste é aplicado uma carga em uma área específica da madeira, que resistira até a sua ruptura (GUMA, 2013; HARA *et al.*, 2014; MORESCHI, 2014) (Figura 4).

“A propriedade da madeira de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras é de grande importância em madeira aplicada na fabricação de estruturas como tesouras para coberturas, por exemplo” (HARA *et al.*, 2014, p. 42).

Figura 4 – Ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento.



Fonte: CORMA (2011).

São vários os fatores que influenciam as propriedades mecânicas, entre eles pode-se citar o teor de umidade, massa específica, defeitos intrínsecos a madeira que reduzem a sua resistência (fendas, nós e lenho de reação), lenho juvenil, temperatura, as dimensões das peças de madeira, idade, o ângulo de inclinação das fibras, propriedades anatômicas, composição química, deterioração do material, além do ambiente em que estiver inserida (GONÇALVES *et al.*, 2009; RAMOS, 2009; STANGERLIN *et al.*, 2010; MIRANDA *et al.*, 2012).

Cabe destacar que em relação a massa específica, quanto mais pesada, em teoria, maiores serão os valores de resistência mecânica da madeira, sendo que tais propriedades tem uma relação tão estreita, que qualquer fator que cause alteração na densidade irá produzir efeito nas propriedades mecânicas (HASELEIN *et al.*, 2002; VALE *et al.*, 2011; GALLIO *et al.*, 2016). Além disso no que concerne ao teor de umidade, Rocha, Paula e Siqueira (1988, p. 153) apontam que:

Quando se deseja aumentar a resistência mecânica de uma madeira verde, é necessário submetê-la a secagem, porque à medida que a água é removida das paredes celulares, a madeira vai se contraindo e, com isso, as microfibrilas vão se aproximando, no que resulta num considerável aumento das propriedades de resistência.

Diante do exposto Botelho (2011) e Guma (2013) argumentam que os resultados obtidos com as avaliações das propriedades mecânicas da madeira, são extremamente importantes para a adaptação do uso de cada espécie, gerando segurança e economia na utilização de seus produtos.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Para o presente estudo foram amostradas 5 árvores da espécie *Liquidambar styraciflua* aos 8 anos de idade, provenientes da Área Experimental Florestal (AEF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no município de Curitibanos-SC, nas coordenadas - 50°35'04" de longitude e -27°16'58" de latitude, a uma altitude de 987 metros.

A região de Curitibanos conta com uma classificação climática, segundo Köppen, do tipo Cfb – Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno) (SDR, 2003). A temperatura média anual no município é de 16,5 °C, com temperaturas mínimas anuais de 12,4 °C e máximas de 22 °C (WREGE *et al.*, 2012).

De cada árvore amostrada foi extraído 1 disco (Figura 5A) da posição correspondente ao DAP, com espessura de 7,0 cm, totalizando cinco discos, para condução dos ensaios físicos, bem como cinco toretes de 1,3 m de comprimento, removidos entre a posição da base e do DAP (Figura 5B) para a caracterização mecânica da madeira. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Recursos Florestais (LRF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Figura 5 – Discos amostrados no DAP (A). Torettes de 1,3 m de comprimento (B).



Fonte: O autor (2022).

3.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

Para determinação da densidade básica, massa específica aparente da madeira verde, a 12% de umidade e da madeira anidra, bem como da retratibilidade, os discos removidos da posição correspondente ao DAP foram inicialmente imersos em água em temperatura ambiente até que atingissem o ponto de saturação das fibras (PSF). Passado esse período, corpos de prova de dimensões de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal), partindo da região mais

próxima à casca, foram confeccionados de acordo com as recomendações da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997). Após a confecção, foram demarcados seus 3 sentidos anatômicos para a determinação da contração sempre no mesmo ponto.

Inicialmente determinou-se a massa das amostras em balança analítica (com precisão de 0,01 g), e mensuração de suas dimensões com o auxílio de um paquímetro digital, ambas as análises na condição de parede celular saturada. De posse desses valores de massa e volume calculou-se a massa específica da madeira verde de acordo com a equação 1.

Na sequência as amostras foram condicionadas em câmara climática (Figura 6A) com controle de temperatura a 20°C e umidade relativa de 65% até atingir peso constante, ocasião em que tiveram sua massa e dimensões avaliadas novamente. Com a obtenção desses valores de massa e volume calculou-se a massa específica aparente a 12% de umidade, de acordo com a equação 2.

Após esse procedimento os corpos de prova foram submetidos a secagem em estufa com circulação forçada de ar (Figura 6B) a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingir massa constante, e realizou-se uma nova pesagem e mensuração de seus sentidos anatômicos. A partir dos valores obtidos de massa e volume calculou-se a massa específica da madeira a 0% de umidade ou anidra, de acordo com a equação 3 e densidade básica por meio da equação 4.

$$ME_V = \frac{\text{Massa verde}}{\text{Volume verde}} \quad (1)$$

$$ME_{12\%} = \frac{\text{Massa}_{12\%}}{\text{Volume}_{12\%}} \quad (2)$$

$$ME_{0\%} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Volume seco}} \quad (3)$$

$$Db = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Volume saturado}} \quad (4)$$

Sendo: ME_V = massa específica da madeira verde, g/cm^3 ; $ME_{12\%}$ = Massa específica a 12% de umidade, g/cm^3 ; $ME_{0\%}$ = Massa específica a 0% de umidade, g/cm^3 ; Db = densidade básica, g/cm^3 .

Figura 6 – Corpos de prova em câmara climática (A). Corpos de prova em estufa de circulação forçada de ar (B).



Fonte: O autor (2022).

Ao término das avaliações, determinou-se também as contrações lineares e volumétrica total pela equação 5. Calculou-se também o coeficiente de retratibilidade para as contrações lineares e volumétrica de acordo com as equações 6 e 7, respectivamente, e o coeficiente de anisotropia, por meio da equação 8. O coeficiente de retratibilidade para a contração em cada sentido anatômico e para o volume foi determinado levando em consideração a massa e dimensão do corpo de prova em condições de madeira anidra e climatizada em câmara (20°C e 65% de umidade relativa), conforme Durlo e Marchiori (1992).

$$\beta_{l, r, t, v} (\%) = \frac{D_{30\%} - D_{0\%}}{D_{30\%}} \quad (5)$$

$$Q\beta = \frac{(D_{12\%} - D_{0\%}) * M_{0\%}}{(M_{12\%} - M_{0\%}) * D_{12\%}} \quad (6)$$

$$QV = \frac{(V_{12\%} - V_{0\%}) * M_{0\%}}{(M_{12\%} - M_{0\%}) * V_{0\%}} \quad (7)$$

$$CA = \frac{\beta_{T_g}}{B R_d} \quad (8)$$

Sendo: $\beta_{l, r, t, v} (\%)$ = Contração longitudinal, radial, tangencial e volumétrica, %; $D_{30\%}$ = Dimensão e volume úmido da madeira em cada sentido anatômico e para o volume, cm; $D_{0\%}$ = Dimensão e volume seco da madeira em cada sentido anatômico e para o volume, cm; $Q\beta$ = Coeficiente de retratibilidade linear; $D_{12\%}$ = Dimensão a 12% de umidade em cada sentido anatômico, cm; $D_{0\%}$ = Dimensão a 0% de umidade em cada sentido anatômico, cm; $M_{0\%}$ =

Massa seca a 0% de umidade, g; $M_{12\%}$ = Massa a 12% de umidade, g; QV = Coeficiente de retratibilidade volumétrico; $V_{12\%}$ = Volume a 12% de umidade, cm^3 ; $V_{0\%}$ = Volume a 0% de umidade, cm^3 ; CA = Coeficiente de Anisotropia para a contração; βT_g = contração tangencial total, %; βR_d = contração radial total, %.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os ensaios mecânicos foram conduzidos em uma máquina universal de ensaios mecânicos com a capacidade de 30 ton. Para o ensaio de flexão estática foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm (radial x tangencial x longitudinal) de acordo com a norma 555 da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1973). Nesse teste as amostras foram posicionadas sobre dois apoios, com vão de 280 mm e a força foi aplicada na face tangencial (Figura 7), com velocidade de teste de 1,0 mm/min. A rigidez da madeira foi expressa pelo módulo de elasticidade (MOE) e a resistência da madeira pelo módulo de ruptura (MOR). O MOE foi obtido diretamente pelo sistema computadorizado da máquina de teste, já o MOR foi calculado pela equação 9.

$$\text{MOR} = \frac{3}{2} \times \frac{P_{\text{máx}} \times L}{b \cdot h^2} \quad (9)$$

Sendo: MOR = Módulo de ruptura, N/mm^2 ; $P_{\text{máx}}$ = carga máxima, N; L = comprimento do vão entre os apoios, mm; h = altura da seção transversal do corpo de prova, mm; b = largura da seção transversal do corpo de prova, mm.

Figura 7 – Ensaio mecânico de flexão estática.



Fonte: O autor (2022).

Para o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras foram utilizados corpos de prova de dimensões de 5,0 x 5,0 x 6,3 cm, sendo a última dimensão no sentido longitudinal, seguindo a recomendação da norma D-143 da American Society of Testing and Materials (ASTM, 1994). No teste a carga foi aplicada paralelamente a grã (Figura 8), nas faces tangencial aos anéis de crescimento e paralelo ao raio. Para a determinação da resistência máxima ao cisalhamento foi utilizada a equação 10, considerando a relação da carga máxima necessária para o rompimento dos corpos de prova e da área de aplicação da carga.

$$R_{cis} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (10)$$

Sendo: R_{cis} = resistência ao cisalhamento, N/mm²; $P_{m\acute{a}x}$ = carga ou força máxima, N; A = área de aplicação da força, mm².

Figura 8 – Ensaio mecânico de cisalhamento.



Fonte: O autor (2022).

Previamente a ambos os ensaios mecânicos, os corpos de prova permaneceram condicionados até massa constante no interior de uma câmara climática com controle de temperatura a 20° C e umidade relativa de 65%. Depois de atingida esta condição e antes da realização dos ensaios foi determinado o volume dos corpos de prova com o auxílio de um paquímetro digital, e a massa das amostras em balança digital, para a determinação da massa específica aparente ao teor de umidade de condicionamento (12%).

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os valores obtidos para as propriedades físicas e mecânicas da madeira foram avaliados a partir de estatística descritiva. Para as propriedades mecânicas foram geradas equações lineares para estimativa das propriedades mecânicas de resistência e rigidez da madeira em função da massa específica aparente à umidade de condicionamento, utilizando o programa Excel versão Microsoft® Excel 2019.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

Os valores médios para as propriedades físicas da madeira de *L. styraciflua* aos 8 anos de idade estão listados na tabela 1. Verifica-se que a madeira apresentou um valor médio de densidade básica na região do DAP de 0,48 g/cm³, que a classifica como de média densidade, de acordo com a International Association of Wood Anatomists Committee (IAWA, 1989). Densidade básica equivalente a do presente estudo foi encontrada por Freitas *et al.* (2015) (0,48 g/cm³) para a mesma madeira e idade, cultivada no estado do Espírito Santo, e inferior a registrada por Mattos *et al.* (2001) (0,52 g/cm³) em madeira com idade de 16 anos.

Tabela 1 – Valores referentes as propriedades físicas da madeira de *L. styraciflua*.

Propriedade	Parâmetro	Média	Coefficiente de Variação (%)
Massa específica aparente (g/cm ³)	Verde	1,12	5,0
	12% de umidade	0,61	6,0
	0% de umidade (Anidra)	0,57	6,0
Densidade (g/cm ³)	Básica	0,48	6,0
Contração total (%)	Volumétrica	16,46	12,0
	Tangencial	11,27	5,0
	Radial	4,30	25,0
Coefficiente de retratibilidade (contração)	Volumétrica	0,50	10,0
	Tangencial	0,30	6,0
	Radial	0,16	7,0
Coefficiente de Anisotropia total	Contração	2,66	14,0

Fonte: O autor (2022).

A massa específica aparente da madeira a 12% de umidade foi superior a encontrada por Freitas *et al.* (2015) para a mesma espécie e idade, que foi de 0,55 g/cm³, já para a condição anidra o valor médio nesse estudo foi muito próximo aos 0,59 g/cm³ registrado pelos autores.

Almeida (2002) estudando clones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) na idade de 9 anos encontrou um valor médio de massa específica aparente na condição verde de 1,03 g/cm³, e uma densidade básica de 0,49 g/cm³, sendo ambos os valores próximos ao observado nesse estudo.

Os valores médios de contração volumétrica, tangencial e radial total foram 16,46%, 11,27% e 4,30% respectivamente. Esse comportamento já era previsto, seguindo os padrões normalmente encontrados na literatura para a maioria das espécies, apresentando percentuais de contração decrescente para os planos tangencial e radial. Galvão e Jankowsky (1985), citado por Cruz (2006), relatam que a contração total para a madeira varia de 2,4 a 11% para a direção radial, de 3,5 a 15% para a direção tangencial e de 6,0 a 27% para a contração volumétrica. Portanto pode-se constatar que os valores percentuais obtidos estão dentro dos limites estabelecidos.

Verifica-se também na tabela 1 que o coeficiente de anisotropia total obtido permite classificar a madeira de *L. styraciflua* avaliada como de qualidade ruim, segundo classificação de Durlo e Marchiori (1992), ou seja, apresenta uma maior propensão a apresentar defeitos de secagem, devendo este aspecto ser levado em consideração no que se refere a seleção de programas de secagem específicos para esta espécie.

Em pesquisa com *L. styraciflua* aos 8 anos Freitas *et al.* (2015) observaram para a mesma densidade básica, valores médios superiores ao do presente estudo para a contração volumétrica, tangencial e radial, com percentuais de 21,79%, 15,24% e 5,43% respectivamente, além de um coeficiente de anisotropia de 2,77, tais valores obtidos demonstram que a madeira avaliada mostrou-se mais estável dimensionalmente, embora tenham sido avaliadas na mesma idade.

Mattos *et al.* (2001) também registraram valores médios superiores para essa espécie aos 16 anos, a contração volumétrica foi de 18,5%, a tangencial foi de 12,7%, e a radial foi de 5,4%, mesmo assim os dois últimos valores refletiram em um coeficiente de anisotropia um pouco inferior sendo de 2,3.

Ao comparar os resultados obtidos com outras folhosas, tal como as madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, Batista, Klitzke e Santos (2010) observaram para uma densidade básica próxima (0,46 g/cm³ e 0,45 g/cm³, respectivamente) na idade de 11 anos, valores de 15,16%, 9,86% e 5,03% e de 14,10%, 9,25% e 4,60% para a contração volumétrica, tangencial e radial, respectivamente, bem como um coeficiente de anisotropia para as espécies de 2,06 e 2,05. Portanto, embora a densidade básica das madeiras utilizadas para comparação tenha sido equivalente à da madeira de *L. styraciflua*, observa-se a uma maior estabilidade dimensional.

4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na tabela 2 encontram-se valores médios e a estatística descritiva para o Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) obtidos no teste de flexão estática, bem como a massa específica aparente dos corpos de prova condicionados à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65% para a madeira de *L. styraciflua* aos 8 anos.

Tabela 2 – Valores referentes ao ensaio de flexão estática para a espécie *L. styraciflua*.

	MOE	MOR	MEA
	(N/mm ²)		(g/cm ³)
Mínimo	6.358,61	50,11	0,56
Média	7.796,52	72,65	0,62
Máximo	9.981,96	90,74	0,70
Desvio Padrão	959,22	8,06	0,04
CV (%)	12,0	11,0	6,0

Fonte: O autor (2022).

Legenda: MOE = módulo de elasticidade ou rigidez; MOR = módulo de ruptura ou resistência; MEA = massa específica aparente da madeira condicionada a 20°C e 65% de UR; CV = coeficiente de variação.

Para o MOE o valor médio obtido foi um pouco superior ao relatado por Freitas *et al.* (2015) (7.652,7 N/mm²) para a mesma espécie e idade, a uma MEA 12% inferior (0,55 g/cm³), já no que concerne ao MOR o verificado nesse estudo foi inferior aos 101,60 N/mm² verificado pelos mesmos autores. Tais valores indicam que a madeira analisada no presente estudo mostrou-se mais rígida, porém de menor resistência mecânica. Observa-se ainda que o coeficiente de variação (CV) para a resistência (11%) e rigidez (12%) foram próximos ao encontrado pelos autores citados anteriormente, 12,86 % para o MOR e 9,68% para o MOE.

Forest Products Laboratory (FPL, 2010) cita para a espécie *Liquidambar* sp. cuja idade não foi indicada pelos autores, e a uma MEA 12% de 0,52 g/cm³, um MOR médio de 86,18 N/mm² e um MOE médio de 11.307,40 N/mm², ambos superiores ao encontrado nos testes de flexão estática para a madeira em questão, de massa específica superior. Lima *et al.* (2015) estudando as propriedades mecânicas da madeira de *L. styraciflua* aos 24 anos, observaram um valor médio de MOR e MOE de 76,7 N/mm² e 8.785,8 N/mm², respectivamente, tais valores encontrados também se apresentaram superiores ao observado nesse estudo, porém podem ser explicados em virtude da diferença de idade das árvores em comparação. Na figura 9 pode-se observar a aparência dos corpos de prova após a realização do ensaio mecânico de flexão estática.

Figura 9 – Aspecto dos corpos de prova após teste de flexão estática.



Fonte: O autor (2022).

Comparando os resultados obtidos com alguns trabalhos encontrados na literatura com a madeira de eucalipto, que é a folhosa de maior destaque no cenário brasileiro, verifica-se que tal gênero apresenta valores superiores para resistência e rigidez.

Lima *et al.* (2019) estudando as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus urograndis* com 7 anos, observaram nos ensaios de flexão estática valores médios para o módulo de ruptura de 99,53 N/mm² (27% superior ao do presente estudo) e para o módulo de elasticidade de 10.326,45 N/mm² (24,5% superior ao do presente estudo). Para a madeira de *Corymbia citriodora* com MEA 12% média de 0,85 g/cm³, Rodrigues (2002) encontrou um MOR de 143,49 N/mm² e MOE de 20.870 N/mm², ou seja, a resistência e rigidez da madeira de *L. styraciflua* foi inferior em 49,36% e 62,4%, respectivamente, quando comparada ao relatado por esse autor. Já Haselein *et al.* (2002), estudando as propriedades de flexão estática da madeira de *Eucalyptus saligna* com uma MEA 12% de 0,435 g/cm³, registraram um valor médio de MOR próximo ao desse estudo (72,14 N/mm²), no entanto o MOE foi 15,87% superior (9.267,28 N/mm²).

Os valores médios e a estatística descritiva para a resistência máxima ao cisalhamento e a massa específica aparente dos corpos de prova de *L. styraciflua* condicionados à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65% estão elencados na tabela 3.

Tabela 3 – Valores referentes ao ensaio de cisalhamento para a espécie *L. styraciflua*.

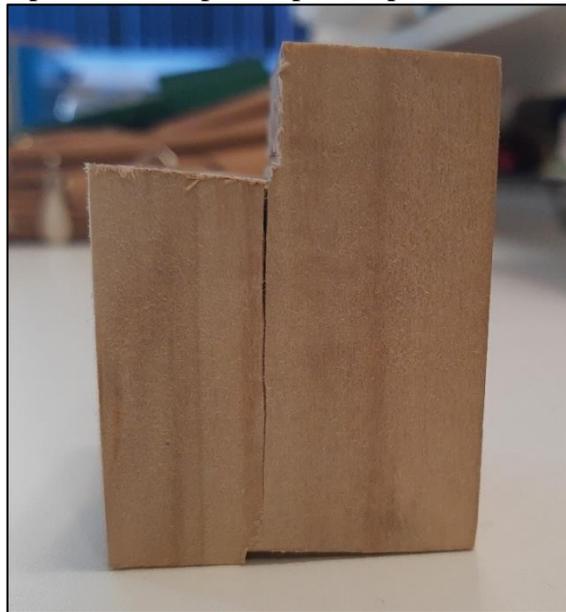
	Resistência (N/mm ²)	MEA (g/cm ³)
Mínimo	6,55	0,48
Média	12,38	0,52
Máximo	14,95	0,56
Desvio Padrão	1,87	0,03
CV (%)	15	5

Fonte: O autor (2022).

Legenda: RM = resistência máxima; MEA = massa específica aparente da madeira condicionada a 20°C e 65% de UR; CV = coeficiente de variação.

Para o ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, observou-se um valor médio de 12,38 N/mm² a uma massa específica aparente média de 0,52 g/cm³. Na figura 10 pode ser verificado o aspecto dos corpos de prova após a realização do teste mecânico de cisalhamento, com destaque para a fissura ocorrida.

Figura 10 – Aspecto dos corpos de prova após ensaio de cisalhamento.



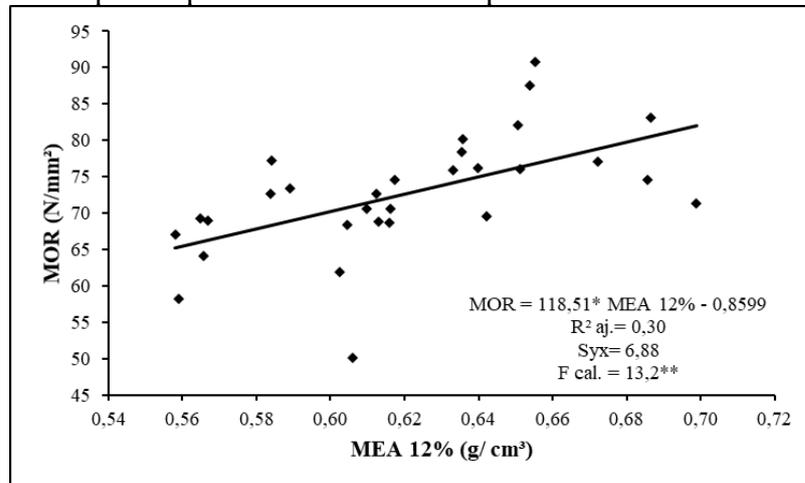
Fonte: O autor (2022).

São poucos os trabalhos na literatura que avaliaram a resistência ao cisalhamento da madeira de *L. styraciflua*, no entanto os que abordam tais pesquisas, relataram valores inferiores para essa propriedade, como Lima *et al.* (2015), que verificaram uma resistência média de 7,5 N/mm² aos 24 anos, portanto aos 8 anos a resistência observada foi 65% superior ao encontrado por esses autores. Já Forest Products Laboratory (FPL, 2010) citou para a espécie um valor médio para a resistência ao cisalhamento de 11,0 N/mm² a uma MEA 12% de 0,52 g/cm³.

Ao comparar com a madeira do gênero *Eucalyptus* alguns autores encontraram valores próximos ao observado nesse estudo. Matos e Molina (2016) ao avaliarem a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras para a madeira de *Eucalyptus saligna* com uma massa específica aparente a 12% de 0,74 g/cm³, observaram um valor médio de 12,98 N/mm². Rodrigues (2002) verificou uma resistência ao cisalhamento para a madeira de *Eucalyptus grandis* de 12,58 N/mm² a uma MEA 12% média de 0,67 g/cm³. Moritani e Calil Junior (2019) estudando a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do *Eucalyptus urograndis* relataram um valor médio para essa propriedade de 11,92 N/mm², sendo 3,85% inferior ao do presente estudo.

Nas figuras 11 e 12 é possível observar as equações de regressão ajustadas, para a estimativa do módulo de ruptura (MOR) em flexão estática e resistência ao cisalhamento, em função da massa específica aparente dos corpos de prova avaliados, juntamente com o coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.), erro padrão da estimativa e significância. Cabe destacar que a equação de regressão ajustada para a estimativa do módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática não foi mostrada nesse estudo, pois não foi significativo.

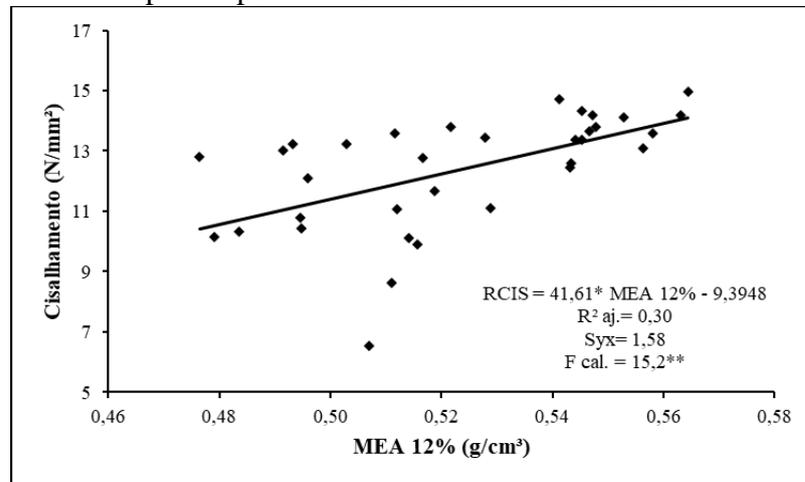
Figura 11 – Regressão linear relacionando massa específica aparente a 12% de umidade dos corpos de prova e o módulo de ruptura à flexão estática.



Fonte: O autor (2022).

Legenda: MOR = módulo de ruptura; MEA 12% = massa específica aparente a 12% de umidade; R^2 aj. = coeficiente de determinação ajustado; **F < 0,01.

Figura 12 – Regressão linear relacionando massa específica aparente a 12% de umidade dos corpos de prova e a resistência ao cisalhamento.



Fonte: O autor (2022).

Legenda: RCIS = resistência ao cisalhamento; MEA 12% = massa específica aparente a 12% de umidade; R^2 aj. = coeficiente de determinação ajustado; ** $F < 0,01$.

Dentre os modelos de regressão avaliados o linear foi o que resultou em um coeficiente de determinação melhor ajustado para a madeira testada. Para ambos observou-se que a massa específica aparente explica 30% da variação do módulo de ruptura, e da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Segundo Dias e Lahr (2004) quanto mais próximo da unidade for o R^2 , melhor é a regressão.

Guma (2013) estudando a madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* (Canemaçu), cuja espécie é encontrada no estado de Santa Catarina, relatou um valor superior de R^2 para o MOR em função da massa específica aparente a 12% de umidade, sendo este de 0,8105.

Stangerlin *et al.* (2010) ao avaliarem a madeira de *Carya illinoensis* (Nogueira-Pecã), espécie exótica que vem sendo muito apreciada no estado do Rio Grande do Sul para a produção de amêndoa, registraram um coeficiente de determinação para o MOR em função da massa específica aparente de 0,48, sendo um pouco superior ao verificado no presente estudo.

Apesar do ajuste dos dados ser inferior ao verificado em diversos estudos que avaliaram a relação da massa específica aparente a 12% dos corpos de prova com as propriedades mecânicas, verifica-se que as equações (Figura 11 e 12) foram significativas ao nível de 1% de significância, sendo possível a sua utilização para estimar as propriedades de resistência a flexão estática e de resistência ao cisalhamento.

Cabe destacar que de maneira geral, houve uma tendência de aumento das propriedades mecânicas estudadas, à medida que a massa específica aparente dos corpos de prova aumentou. Corroborando com o comportamento encontrado por Rocha *et al.* (2017) para

a madeira de *Eucalyptus* sp. onde ao aumentar a massa específica aparente observaram um aumento nas propriedades de resistência a flexão.

O baixo coeficiente de determinação das equações ajustadas pode ser atribuído a outros fatores inerentes a madeira e que influenciam nas propriedades mecânicas avaliadas tal como a orientação da grã, uma vez que foram selecionados corpos de prova isentos de defeitos aparentes, tais como nós e rachaduras. De acordo com Shimizu (2005), a madeira de liquidambar apresenta uma grã-reversa característica que influencia negativamente a resistência mecânica da madeira, sobrepondo o ganho de resistência atribuída ao aumento da massa específica, o que pode justificar os valores baixos de R^2 encontrados.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse estudo para as propriedades físicas e mecânicas possibilitam concluir que a madeira de *L. styraciflua* aos 8 anos:

- Apresenta baixa estabilidade dimensional, refletido em um coeficiente de anisotropia considerado alto, porém comporta-se mais estável dimensionalmente, quando comparada com árvores da mesma espécie e idade. Com base nisso, recomenda-se um maior cuidado na seleção e elaboração de um programa de secagem para que seja condizente com sua característica de propensão a empenos e rachaduras no decorrer da redução do seu teor de umidade.

- É classificada como de média densidade. Apresenta uma massa específica a 12% de umidade e anidra, semelhante ao encontrado em alguns estudos com a mesma espécie. Com relação a massa específica aparente da madeira verde, os valores encontrados nesse estudo foram bem próximos ao encontrado para madeiras de clones de eucalipto.

- Com relação a resistência (expressa pelo MOR) e rigidez (expressa pelo MOE), obtidos através do ensaio de flexão estática, a madeira apresenta valores próximos ao encontrado na literatura para a espécie, porém tais valores são inferiores ao relatado para espécies do gênero *Eucalyptus*.

- Para o ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, a espécie mostra-se mais resistente quando comparada com a mesma espécie em idade superior e também valor próximo a de espécies do gênero *Eucalyptus*.

De maneira geral, a madeira de liquidambar apresenta potencial para a indústria de base florestal na idade de 8 anos como espécie alternativa, podendo ser empregada em usos onde a característica de resistência ao cisalhamento seja requerida, como por exemplo, na fabricação de estruturas como tesouras para coberturas. No entanto deve-se ter um maior cuidado na escolha de programas de secagem específicos para que não ocorram defeitos que prejudiquem sua aplicação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. R. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados.** 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ALMEIDA, T. H. **Estudo da estabilidade dimensional de madeiras tropicais brasileiras.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D143:** Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia: ASTM, 1994.
- ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre as propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190.** Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS – ACR. **Anuário Estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina: ano base 2018.** Lages: ACR, 2019.
- BARIL, M. B. **Caracterização morfoanatômica e fitoquímica das partes aéreas e estudo do óleo essencial das folhas de *Liquidambar styraciflua* L., *Altingiaceae*.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.
- BONDUELLE, M.G. M. *et al.* Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 671-680, 2015.
- BOTELHO, M. N. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.
- BRAZ, R. L. **Caracterização do lenho de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.
- CAMPOS, A. C. M. *et al.* Variação dimensional e da densidade básica de 14 madeiras de espécies alternativas. *In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA*, 11., 2008, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: EBRAMEM, 2008.

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

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 555: Método de Ensayo de flexión estática**. Buenos Aires: COPANT, 1973.

CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA- CORMA. **Manual la construcción de viviendas en maderas**. Concepción: CORMA, 2011.

CRUZ, G. K. A. **Variação longitudinal e transversal nas propriedades da madeira do Tauari Vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke - Lecythidaceae)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

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

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

FEUCHARD, L. D. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Casuarina equisetifolia***. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – FPL. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. (General Technical Report, 190).

FRANCO, G. F. **Bioprospecção das partes aéreas e óleo essencial de *Liquidambar styraciflua* L., Altingiaceae**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FREITAS, D. L. **Caracterização tecnológica da madeira de *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

FREITAS, D. L. *et al.* Estabilidade dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 4, p. 435-439, 2016.

FREITAS, T. P. *et al.* Caracterização anatômica e físico- mecânica da madeira de *Liquidambar* sp. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 723-734, 2015.

FREITAS, T. P. *et al.* Potencial de uso da madeira de *Liquidambar* sp. para produção de polpa celulósica e papel. **Ciências Agrárias**, Belém, v. 60, n. 4, p. 328-334, 2017.

GALLIO, E. *et al.* Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 3, p. 244-250, 2016.

GONÇALVES, F. G. *et al.* Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

GUMA, R. L. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

HARA, M. M. *et al.* Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforço induzido por puncionamento. **Engenharia e Construção Civil**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 40-54, 2014.

HASELEIN, C. R. *et al.* Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual IBÁ 2021 ano base 2020**. São Paulo: IBÁ, 2021.

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

KALIL FILHO, A. N.; WENDLING I.; TRACZ, A. L. **Estaquia de *Liquidambar styraciflua* para o resgate de clones superiores**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2011. (Comunicado técnico, 271).

KALIL FILHO, A. N.; WENDLING I.; TRACZ, A. L. **Propagação vegetativa de *Liquidambar* por enxertia**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2007. (Circular técnica, 137).

LIMA, I. L. *et al.* Anatomia e propriedades da madeira de *Liquidambar styraciflua* aos 24 anos de idade em três classes de diâmetro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 733-744, 2015.

LIMA, I. L.; FREITAS, J. A.; GARCIA J. N. Influência da classe diamétrica nos índices de rachadura da madeira em *Liquidambar styraciflua*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 117-123, 2013.

LIMA, P. A. F. *et al.* Qualidade da madeira de eucalipto para aplicação como mourão tratado. **Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 2, p. 509-519, 2019.

LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

MATOS, G. S.; MOLINA, J. C. Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 1069- 1079, 2016.

MATTOS, P. P. *et al.* **Características da madeira de *Liquidambar styraciflua***. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2001. (Circular técnica, 49).

MIRANDA, M. C. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 55-65, 2012.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. *In*: OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. (org.). **Plantações Florestais: Geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília: Embrapa, 2017. p. 11-19.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. 4. ed. Curitiba: Departamento da Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2014. (Apostila).

MORITANI, F. Y.; CALIL JUNIOR, C. Comparação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do *Eucalyptus urograndis*: corpos de prova isentos de defeitos x peças estruturais. *In*: TULLIO, F. B. M. (org.). **Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias**. Ponta Grossa: Atena, 2019. p. 133-144.

MÜLLER, B. V. *et al.* Avaliação das Principais Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 535-542, 2014.

OLIVEIRA, J. K. *et al.* Massa específica básica da madeira de *Tectona grandis* proveniente de sistema agrossilvipastoril. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 79608-79617, 2020.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**, Viçosa, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

QUERIDAS PLANTAS. **Liquidambar** (*Liquidambar styraciflua*). 2022. Disponível em: <https://www.queridasplantas.com/liquidambar-styraciflua/>. Acesso em: 02 mar. 2022.

RAMOS, S. I. N. **Caracterização das propriedades mecânicas e durabilidade biológica da madeira de *Quercus faginea***. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

REBOLETO, I. D. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de mogno brasileiro proveniente de plantios homogêneos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

REZENDE, M. A. *et al.* Estudo das variações de densidade da madeira do *Liquidambar styraciflua* e do *Pinus tecunumannii*, como parâmetro de qualidade para a produção de móveis. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 7, n. 1, p. 60-71, 2007

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudos das interrelações entre a massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p. 133-141, 1995.

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas e livres de defeitos. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 18, n. 1/2, p. 147-162, 1988.

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

ROCHA, S. M. G. *et al.* Resistência a flexão em peças de madeira de eucalipto para a produção de estofados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UDESC, 2017.

RODRIGUES, E. A. C. *et al.* Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliada em árvores no campo. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 147-152, 2008.

RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para construção civil**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n.1, p. 85-93, 2000.

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

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Caracterização regional**. Curitiba: SDR, 2003.

SHIMIZU, J. Y. Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais: silvicultura e usos. In: **Espécies não Tradicionais para Plantios com Finalidades Produtivas e Ambientais**. Colombo: EMBRAPA CNPF, 1998. p. 63-71.

SHIMIZU, J. Y. Liquidambar para produção de madeira no sul e sudeste do Brasil. **Bol. Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 50, p. 127-138, 2005.

SHIMIZU, J. Y.; SPIR, I. H. Z. Produtividade de madeira de Liquidambar (*Liquidambar styraciflua* L.) de diferentes procedências em Quedas do Iguaçu, PR. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 487-491, 2004.

- SILVA, J. C. *et al.* Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.
- SILVA, L. V. M. S. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Mogno Africano** (*Khaya ivorensis* A. Chev.). 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.
- STANGERLIN, D. M. *et al.* Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 70-79, 2010.
- TREVISAN, R. *et al.* Variação radial da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 533-559, 2008.
- VALE, A. T. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira de sucupira branca [*Pterodon pubescens* (Benth.) Benth.]. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 18, n. 1, p. 118-125, 2011.
- WREGGE, M. S. *et al.* **Atlas climático da região sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.
- ZANON, B. R. *et al.* Variação de algumas propriedades físicas e anatômicas da madeira de *Liquidambar styraciflua* L. (sweet gum) em função da posição radial na tora em diferentes classes de diâmetro. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, n. 40, p. 69-74, 2009.