UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Danilo Leão de Freitas

# CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Maclura tinctoria* (L.) D. DON EX STEUD.

Santa Maria, RS.
2016

**Danilo Leão de Freitas**

# CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Maclura tinctoria* (L.) D. DON EX STEUD.

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS.
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Leão de Freitas, Danilo
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE Maclura tinctoria (L.) D. DON EX STEUD. / Danilo Leão de Freitas.-2016.
99 p.; 30cm

Orientador: Clovis Roberto Haselein
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2016

1. Propriedades físico-mecânicas 2. Durabilidade natural 3. Colorimetria 4. Tajuva I. Roberto Haselein, Clovis II. Título.

**Danilo Leão de Freitas**

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Maclura tinctoria* (L.) D. DON EX STEUD.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**Aprovado em 26 de fevereiro de 2016:**

_____
**Clovis Roberto Haselein, Dr.**
(Presidente/Orientador)

_____
**Rafael Beltrame, Dr. (UFPEL)**

_____
**Magnos Alan Vivian, Dr. (UFSC)**

Santa Maria, RS.
2016

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Notoli e Goreti e às minhas irmãs Larissa e Daniele, pelo amor, carinho, incentivo e confiança.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao meu orientador Prof. Clovis Roberto Haselein, pela oportunidade, orientações, sugestões e confiança durante a elaboração deste trabalho.

Aos membros da banca: Rafael Beltrame e Magnos Vivian, pela disponibilidade, contribuições e sugestões.

Aos colegas de laboratório, em especial ao Rodrigo e Sabrina pelo auxílio na coleta de dados, sugestões e amizade.

Aos funcionários do laboratório: Fabiana, Tarso, Nelson, e Jorge, pela colaboração.

E a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Maclura tinctoria* (L.) D. DON EX STEUD.**

AUTOR: Danilo Leão de Freitas
ORIENTADOR: Clovis Roberto Haselein

O objetivo desse estudo foi caracterizar tecnologicamente a madeira de Tajuva (*Maclura tinctoria*). Para tanto, realizaram-se ensaios físicos, mecânicos, de apodrecimento acelerado por fungos em laboratório e análise colorimétrica da madeira. Cinco árvores da espécie foram coletadas de um povoamento florestal natural localizado no município de Porto Mauá, Rio Grande do Sul. Após a seleção das mesmas, essas foram seccionadas em toras, e posteriormente desdobradas em pranchões para a confecção dos corpos de prova para a realização dos ensaios de caracterização da madeira. A avaliação das propriedades físico-mecânicas realizou-se conforme a norma D143-94 - ASTM (2005). O ensaio de apodrecimento acelerado seguiu a norma D-2017 - ASTM (2005). As análises da coloração do cerne e do alburno da madeira, e a alteração colorimétrica dos lenhos após serem submetidos ao ataque dos fungos, foram realizadas utilizando-se o sistema de medição de cor CIELAB 1976. Os resultados evidenciaram um decréscimo da massa específica básica e massa específica verde no sentido base-topo da árvore, enquanto o teor de umidade máximo apresentou um aumento nesse mesmo sentido. A massa específica básica ponderada apresentada pela espécie foi de 0,555 $g.cm^{-3}$, e a massa específica aparente a 12% igual a 0,70 $g.cm^{-3}$. A madeira apresentou uma boa estabilidade dimensional. A massa específica aparente da madeira apresentou correlação alta e significativa com a flexão estática, dureza Janka, tensão no limite proporcional e resistência máxima à compressão paralela e compressão perpendicular. Com isso, a massa específica torna-se importante variável para a predição da resistência da madeira quanto às propriedades mecânicas. As propriedades mecânicas permitem classificar a madeira dessa espécie como de resistência média a alta. O cerne e o alburno apresentaram coloração distinta: enquanto o cerne caracterizou-se pela cor amarela, o alburno apresentou coloração branca-acinzentada. A região do cerne apresentou alta resistência ao ataque dos fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Gloeophyllum trabeum*, com uma perda de massa igual a 1,52% e 0,96%, respectivamente. Enquanto o alburno apresentou resistência moderada ao ataque do fungo *Pycnoporus sanguineus,* com perda de massa no valor de 40,4%, e alta resistência ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum,* com 8,4% de perda de massa. Quanto às indicações de utilizações da madeira, pode-se indicar para construções rurais, como em moirões, esteios, postes, dormentes e vigas de pontes, e na construção civil, como caibros, vigas e assoalhos.



**Palavras-chave:** Propriedades físico-mecânicas. Durabilidade natural. Colorimetria. Tajuva.

## ABSTRACT

**TECHNOLOGICAL CARACHTERIZATION OF THE WOOD OF *Maclura tinctoria* (L.) D. DON EX STEUD.**

AUTHOR: Danilo Leão de Freitas
ADVISOR: Clovis Roberto Haselein

The objective of this study was to characterize technologically the wood of Tajuva (*Maclura tinctoria*). Therefore, there were physical, mechanical tests, of accelerated rot fungi in the laboratory and colorimetric analysis of the wood. Five trees of the species were collected from a natural forest stand located in the municipality of Porto Mauá, Rio Grande do Sul. After the selection of the same, these were cut into logs, and then split into planks for the preparation of specimens for performing the timber characterization tests. The evaluation of physical and mechanical properties was carried out according to D143-94 standard - ASTM (2005). The accelerated rotting test followed the standard D-2017 - ASTM (2005). The analysis of the staining of the heartwood and sapwood of the timber, and the colorimetric change of the logs after being subjected to fungal attack, were performed using the color measuring system CIELAB 1976. The results showed a decrease in specific gravity and green density towards base top of the tree, while the maximum moisture content showed an increase in the same direction. The weighted basic density presented by the species was 0.555 g.cm-3, and the bulk density of 12% equal to 0.70 g.cm-3. The timber had a good dimensional stability. The bulk density of the wood showed high and significant correlation with the bending, hardness tension in the proportional limit and maximum resistance to compression parallel and perpendicular compression. Thus, the specific gravity becomes important variable for predicting the strength of wood regarding mechanical properties. The mechanical properties allowed classifying the wood of this species as medium strength high. The heartwood and sapwood showed a distinct color: while the core was characterized by yellow, sapwood presented grayish-white color. The region of the heart showed high resistance to attack of fungi *Pycnoporus sanguineus* and *Gloeophyllum trabeum* with a weight loss equal to 1.52% and 0.96%, respectively. While the sapwood showed moderate resistance to attack of the fungus *Pycnoporus sanguineus*, with mass loss in value of 40.4%, and high resistance to fungal attack of *Gloeophyllum trabeum,* with 8.4% of weight loss. As for the indications of this wood uses, may be indicated for rural buildings, such as fence posts, pillars, posts, sleepers and bridge beams, and construction as rafters, beams and floors.



**Key-words:** Physical and mechanical properties. Natural durability. Colorimetry. Tajuva.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A espécie de *Maclura tinctoria:* tronco (A); folhas (B); frutos (C); sementes (D); látex exsudando no tronco (E); madeira (F) ..... 19
Figura 2 – Sistema de coordenadas de cores CIELAB 1976 ..... 32
Figura 3 – Amostragem para a determinação da massa específica básica. Representação da Posição de retirada dos discos no tronco (A); Discos identificados em razão da posição de retirada (B) ..... 35
Figura 4 – Determinação da massa específica básica. Obtenção das cunhas a partir dos discos (A); Determinação do volume saturado das cunhas pelo método de imersão em água sobre balança hidrostática (B) ..... 36
Figura 5 – Amostragem para determinação da retratibilidade: contração radial (A) e contração tangencial (B) ..... 38
Figura 6 – Desdobro das toras de *Maclura tinctoria*: obtenção dos pranchões em serra fita vertical (A); pranchões gradeados para secagem (B) ..... 39
Figura 7 – Ensaios mecânicos realizados na madeira de *Maclura tinctoria*: flexão estática (A), dureza Janka (B), compressão paralela (C), compressão perpendicular (D), tração perpendicular (E), cisalhamento (F), e flexão dinâmica (G) ..... 41
Figura 8 – Amostras de madeira de *Maclura tinctoria* utilizadas para o ensaio de apodrecimento acelerado: cerne (A) e alburno (B) ..... 43
Figura 9 – Procedimentos para realização do ensaio de resistência natural da madeira de *Maclura tinctoria*: frasco de vidro contendo substrato e placa suporte de *Pinus* (A); repicagem dos fungos para placa de Petri (B); fungo desenvolvido em meio de cultura sólido (C); fungo desenvolvido sobre a placa de *Pinus* (D)..... 45
Figura 10 – Madeira de *Maclura tinctoria* em ensaio de apodrecimento com o fungo *Pycnoporus sanguineus*: momento em que a madeira foi colocada em contato com o fungo (A) e após quatro meses em contato (B)..... 46
Figura 11 – Determinação dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Maclura tinctoria:* Colorímetro modelo Konica Minolta CR-400 (A); Leitura dos parâmetros nas amostras (B) ..... 48
Figura 12 – Valores médios das massas específicas básica (Meb) e verde (Mev) e teor de umidade máximo ($TU_{máx}$) para a madeira de *Maclura tinctoria* em função da posição longitudinal do tronco ..... 51
Figura 13 – Equação de regressão gerada para a predição da massa específica básica (A) e teor de umidade máximo (B) em função da altura comercial da árvore ..... 54
Figura 14 – Valores observados e equação de regressão gerada para a predição das contrações lineares e volumétrica em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria* ..... 57
Figura 15 – Valores observados e equação de regressão gerada para a predição do módulo de elasticidade (A) e módulo de ruptura (B) da flexão estática em função da massa específica aparente a 12% e do MOR em função do MOE (C)..... 61
Figura 16 – Valores observados e equação de regressão gerada para a predição da resistência ao cisalhamento em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria.* ..... 63

Figura 17 – Equação de regressão gerada para a predição da dureza Janka tangencial (A), radial (B) e longitudinal (C) em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria* ..... 66
Figura 18 – Equação de regressão gerada para a predição da tração perpendicular da madeira de *Maclura tinctoria* em função de sua massa específica aparente a 12%..... 68
Figura 19 – Equação de regressão gerada para a predição da tensão no limite proporcional para a compressão paralela em função da massa específica aparente (A) e da resistência máxima à compressão paralela (B)..... 71
Figura 20 – Equação de regressão gerada para a predição do módulo de elasticidade (A) e tensão no limite proporcional (B) para a compressão perpendicular em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*. ..... 73
Figura 21 – Equação de regressão gerada para a predição do coeficiente de resiliência (A) e trabalho absorvido (B) em flexão dinâmica em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*..... 76
Figura 22 - Coloração do cerne (A) e alburno (B) da madeira de *Maclura tinctoria* ..... 78
Figura 23 – Valores médios da perda de massa (%) observados para o cerne e o alburno da madeira de *Maclura tinctoria* submetida ao ataque pelos fungos *Pycnoporus sanguineos* e *Gloephyllum trabeum*..... 80
Figura 24 – Aspecto das amostras de alburno da madeira de *Maclura tinctoria* após o ensaio de apodrecimento acelerado..... 82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios de massa específica aparente, com teor de umidade a 15%, para madeiras de espécies florestais com ocorrência no sul do Brasil ..... 22
Tabela 2 – Valores médios de contrações tangencial, radial e volumétrica para madeiras de espécies florestais com ocorrência no sul do Brasil . 26
Tabela 3 – Características dendrométricas das árvores de *Maclura tinctoria* .. 34
Tabela 4 – Dimensões, velocidade de ensaio e número dos corpos de prova que foram utilizados na determinação das propriedades mecânicas ..... 40
Tabela 5 – Tratamentos e número de corpos de provas utilizados no ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório ..... 42
Tabela 6 – Classificação da resistência natural de madeiras submetidas ao ataque de fungos apodrecedores em ensaio acelerado em laboratório, em função da perda de massa (%) dos corpos de prova, de acordo com a norma ASTM D 2017 (2005). ..... 47
Tabela 7 – Classificação da variação total da cor ($\Delta E$) de madeiras..... 49
Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson entre a massa específica verde (Mev), massa específica básica (Meb), teor de umidade máximo ($Tu_{máx}$) e altura comercial (HC) da madeira de *Maclura tinctoria* ..... 53
Tabela 9 – Valores médios da contração e fator anisotrópico da madeira de *Maclura tinctoria*..... 55
Tabela 10 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as massas específicas, contrações e coeficiente de anisotropia da madeira de *Maclura tinctoria*..... 56
Tabela 11 – Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para o ensaio de flexão estática, e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria* ..... 58
Tabela 12– Coeficiente de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*..... 59
Tabela 13 – Valores médios da resistência ao cisalhamento (µcis), carga máxima (αmáx) e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*..... 62
Tabela 14 – Valores médios da dureza tangencial, radial e axial e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria* .. 64
Tabela 15 – Coeficiente de correlação de Pearson entre a dureza Janka nos sentidos tangencial, radial e longitudinal e a massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*..... 65
Tabela 16 – Valores médios da resistência à tração perpendicular ($T^{\perp}$), carga máxima ($\alpha_{máx}$) e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*..... 67
Tabela 17 – Valores médios do módulo de elasticidade ($E_{c\parallel}$), resistência máxima ($\mu_{máx}$) e tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) para o ensaio de compressão paralela, e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*..... 69
Tabela 18 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade à compressão paralela ($E_{c\parallel}$), resistência máxima

($\mu_{máx}$), tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) e massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*..... 70
Tabela 19 – Valores médios do módulo de elasticidade ($E_{c\perp}$) e tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) para o ensaio de compressão perpendicular, e massa específica aparente (Mea) a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*..... 72
Tabela 20 - Coeficiente de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade à compressão perpendicular ($E_{c\perp}$), tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) e massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*..... 73
Tabela 21 – Valores médios do trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K), cota dinâmica (CD), e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria* ..... 74
Tabela 22 – Valores médios dos parâmetros colorimétricos do cerne e alburno nos planos longitudinal radial, longitudinal tangencial e transversal da madeira de *Maclura tinctoria*..... 77
Tabela 23 – Parâmetros colorimétricos do cerne e alburno da madeira de *Maclura tinctoria* em condição natural (testemunha) e após o ataque dos fungos *Pycnoporus sanguineos* (podridão branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda) ..... 83
Tabela 24 – Valores médios da variação dos parâmetros colorimétricos do cerne e alburno da madeira de Maclura tinctoria submetida ao ataque dos fungos *Pycnoporus sanguineos* e *Gloeophyllum trabeum*..... 85

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO** ..... 14
**2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** ..... 17
2.1 A *Maclura tinctoria* ..... 17
**2.1.1 Taxonomia e nomenclatura** ..... **17**
**2.1.2 Ocorrência natural** ..... **18**
**2.1.3 Características da espécie** ..... **18**
**2.1.4 Produtos e utilizações** ..... **20**
2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA ..... 20
**2.2.1 Massa específica** ..... **20**
**2.2.2 Teor de umidade da madeira** ..... **22**
**2.2.3 Retratibilidade** ..... **24**
2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA ..... 26
2.4 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA ..... 29
2.5 COLORIMETRIA ..... 31
**3 MATERIAIS E MÉTODOS** ..... 34
3.1 SELEÇÃO DO MATERIAL ..... 34
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS ..... 35
**3.2.1 Massa específica básica** ..... **35**
**3.2.2 Teor de umidade da madeira** ..... **37**
**3.2.3 Contração** ..... **37**
3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS ..... 39
3.4 DURABILIDADE NATURAL ..... 42
3.5 COLORIMETRIA ..... 47
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA ..... 49
**4 RESULTADOS E DISCUSSÃO** ..... 50
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS ..... 50
**4.1.1 Massa específica e teor de umidade** ..... **50**
**4.1.2 Contração** ..... **54**
4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS ..... 58
**4.2.1 Flexão estática** ..... **58**
**4.2.2 Cisalhamento** ..... **62**
**4.2.3 Dureza Janka** ..... **63**
**4.2.4 Tração perpendicular** ..... **66**
**4.2.5 Compressão axial** ..... **68**
**4.2.6 Compressão perpendicular** ..... **71**
**4.2.7 Flexão dinâmica** ..... **74**

4.3 CARACTERIZAÇÃO COLORIMÉTRICA DA MADEIRA ..... 76
4.4 DURABILIDADE NATURAL ..... 79
**4.4.1 Perda de massa..... 79**
**4.4.2 Alteração colorimétrica ..... 83**
**5 CONCLUSÕES** ..... 87
**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** ..... 89
**ANEXO A – GRUPOS DE CORES OBTIDAS NO AGRUPAMENTO DE CLUSTER USANDO AS VARIÁVEIS CROMÁTICAS L, a*, b* e h** ..... 99

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma das maiores biodiversidades do mundo, principalmente no que se refere às espécies florestais. Porém, os principais estudos na área de silvicultura estão direcionados às espécies exóticas, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, muito em decorrência de seus rápidos crescimentos e ciclos de colheita mais curtos em relação às espécies nativas. Por consequência, pesquisas científicas que caracterizem as propriedades tecnológicas da madeira estão voltadas para as espécies desses dois gêneros. Com isso, poucas de nossas espécies nativas apresentam estudos que as caracterizem, sobretudo em relação à sua madeira.

Por esse escasso conhecimento das características tecnológicas das madeiras nativas, o mercado madeireiro nacional e internacional apresenta restrições comerciais a muitas madeiras das nossas florestas, as quais se tivessem melhor entendimento de suas características poderiam vir a tornarem-se importantes para variados usos, como por exemplo, para a indústria moveleira e construção civil (TEIXEIRA et al., 2011).

Todo e qualquer material para ser utilizado da forma mais correta e eficiente, necessita de conhecimento prévio das suas características, principalmente no que diz respeito a sua aplicação. Com a madeira não é diferente, sendo indispensável o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, de maneira que essas auxiliem na indicação do melhor uso desse material.

Por ser um material de origem orgânica, a madeira apresenta propriedades distintas entre as variadas espécies, sendo necessária a avaliação dos diversos fatores intrínsecos que afetam nas características da mesma. Devido à sua origem, a madeira está sujeita à degradação, seja por fatores bióticos, como fungos, insetos, bactérias e microrganismos marinhos ou abióticos, como radiação solar e umidade, o que faz com que seja essencial além de caracterizar suas propriedades físicas e mecânicas, avaliar a sua resistência a esses fatores, ou seja, determinar a sua durabilidade natural.

As informações obtidas sobre a resistência natural da madeira a esses fatores, principalmente os organismos xilófagos, torna-se um critério muito importante para o uso adequado da madeira, pois além de complementar o conhecimento das demais propriedades tecnológicas, fornecem planos para a sua

correta utilização, principalmente nas indústrias de móveis, construção civil e em situações que permaneçam em contato com o solo.

A partir do conhecimento desses parâmetros relacionados à madeira, é possível designá-la a aplicações em que se mostre mais apropriada para as diferentes situações de uso, seja em ambientes externos, internos, painéis, móveis, embalagens, entre outros. Com isso, além de escolher a madeira mais eficiente para determinada situação e aumentar a sua vida útil devido ao seu uso adequado, também ganhará em relação aos aspectos de segurança e economia, pois quando o material é utilizado corretamente evitam-se gastos desnecessários com a sua reposição precoce.

Além dos parâmetros físicos, mecânicos e da durabilidade natural, a qualidade da madeira para determinado uso é influenciada por suas propriedades organolépticas, em especial a cor, pois essa é uma variável importante para a sua aceitação comercial no mercado, já que é uma das características de maior impacto visual. Em virtude disso, o aspecto da cor torna-se importante em qualquer material, uma vez que sua percepção é instantânea através do contato visual, devido ao fato de ser um dos componentes da estética, que se agrega à superfície e ao desenho de uma peça de madeira.

Dentre as várias espécies arbóreas brasileira que apresentam potencial para o uso de sua madeira em diversas finalidades, destaca-se a *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud, conhecida popularmente no sul do país como Tajuva. Essa espécie pertence à família Moraceae, com ocorrência desde o México até o estado do Rio Grande do Sul. É uma árvore dioica, espinhenta, lactescente e semicaducifólia, com altura de 10 a 35 metros e tronco que pode chegar até 1 metro de diâmetro (LORENZI, 2008; PAULA; ALVES, 2007).

A sua madeira apresenta boas propriedades mecânicas, e também excelente resistência ao ataque por organismos xilófagos. Essas características fazem com que a espécie apresente uma variada gama de utilizações. Em que pode ser indicada para construções externas, como postes, esteios, mourões, vigamento de pontes, dormentes, cruzetas. E na construção naval, como piso de convés e degrau de escadas (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2008).

Apesar de existirem alguns estudos caracterizando as principais propriedades de sua madeira, esses são escassos e com pouca precisão e detalhamento. Em

decorrência disso, pesquisas mais aprofundadas e com maiores exigências científicas são necessárias para melhor caracterizar suas propriedades tecnológicas.

Diante do exposto, esse trabalho teve como objetivo caracterizar tecnologicamente a madeira de *Maclura tinctoria.*

Entre os objetivos específicos, destacam-se os seguintes:

a) avaliar as propriedades físicas;
b) determinar as propriedades mecânicas;
c) descrever os parâmetros colorimétricos do cerne e do alburno;
d) avaliar a resistência natural do cerne e alburno ao ataque por fungos apodrecedores.

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 A *Maclura tinctoria*

### 2.1.1 Taxonomia e nomenclatura

A espécie *Maclura tinctoria* (L.) Gaudichaud pertence à família Moraceae (GOMES, 2003), a qual é representada por cerca de 50 gêneros e 1500 espécies, apresentando distribuição predominantemente nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. No Brasil, ocorrem 27 gêneros e, aproximadamente, 250 espécies, em sua maioria na região amazônica, representadas por árvores, arbustos, ervas, trepadeiras e até epífitas (SOUZA; LORENZI, 2012).

O gênero *Maclura* é composto por 11 espécies espalhadas pelas regiões tropicais da América, África e Ásia. Três espécies ocorrem na América, desde os Estados Unidos até a Argentina, sendo que no Brasil ocorrem apenas *M. tinctoria* e *M. brasiliensis* (CARVALHO, 2003).

*Maclura tinctoria* apresenta a sinonímia botânica de: *Chlorophora reticulata* Herzog, *Chorophora tinctoria* (L.) Gaudich. subsp. *Mora*, *Chorophora tinctoria* (L.) Gaudich. var. *polyneura*, *Chlorophora tinctoria* (L.) Gaudich. var. *tinctoria*, *Chlorophora tinctoria* (L.) Gaudich. var. *xanthoxyla*, *Chlorophora xanthoxylum* Endl., *Morus tinctoria* D. Don., *Morus zanthoxylon* L., *Maclura velutina* Blume, *Maclura affinis* Miq. e *Maclura chlorocarpa* Liebm. (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2008)

Essa espécie é conhecida popularmente por inúmeras denominações, as quais variam dependendo do país ou da região. No sul do Brasil é conhecida popularmente como Tajuva, Taíuva, Amoreira e Itajubá, e em outras regiões é denominada Amoreira-branca, Amarelinho, Amoreira-de-espinho, Jataíba, Moreira, Pau-amarelo, Taiuva, Tajuba, Tatajiba, Tatajuba, Tatajuba-de-espinho, Tatané, Taúba, Pau-brasil, Pau-de-cores e Pau-de-ferro (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2008).

Nos demais países em que ocorre é conhecida como: brasil, na Colômbia; Ineira-caspi, no Peru; Mora-amarilla, na Argentina e na Venezuela; Mora-grande, na Bolívia; Mora-fino e Sota, no Equador e Tatajyva, no Paraguai (CARVALHO, 2003).

### 2.1.2 Ocorrência natural

A espécie é encontrada desde regiões do México até o sul do Brasil (GOMES et al., 2003; SOBRAL, 2013). Se estende desde a latitude 26° N (México) a 30° S (Brasil, Rio Grande do Sul), nas florestas tropical úmida e seca da América Central e do Sul (LACHANCE et al., 2001). No Brasil desenvolve-se em uma grande variação de altitude, desde 30 m, no litoral do Ceará, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, a 1.200 m de altitude, no Distrito Federal, apresentando vasta distribuição Neotropical, com ocorrência desde a região Amazônica até o sul do país (CARVALHO, 2003).

Nas formações florestais brasileiras ocorre nas matas secundárias da floresta ombrófila densa atlântica e amazônica, ombrófila aberta, estacional semidecidual e decidual, e matas ripárias do Centro-Oeste, sendo rara no interior da floresta primária alta e sombria (LORENZI, 2008; PAULA; ALVES, 2007; PEDERNEIRAS, 2011).

No Rio Grande do Sul, participa da composição da Floresta Atlântica e da Floresta Estacional da Depressão Central e Alto Uruguai, crescendo preferencialmente em solos aluviais úmidos e no início de encostas, sendo ausente na Floresta Ombrófila Mista (LORENZI, 2008; MARCHIORI, 1997; REITZ, 1983; SOBRAL, 2013).

### 2.1.3 Características da espécie

A Tajuva é uma espécie heliófila, medianamente tolerante às baixas temperaturas. É uma árvore dioica, espinhenta, lactescente e semicaducifólia, com altura de 10 a 35 metros e tronco que pode chegar até 1 metro de diâmetro (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2008; MARCHIORI, 1997; PAULA; ALVES, 2007), conforme a Figura 1.

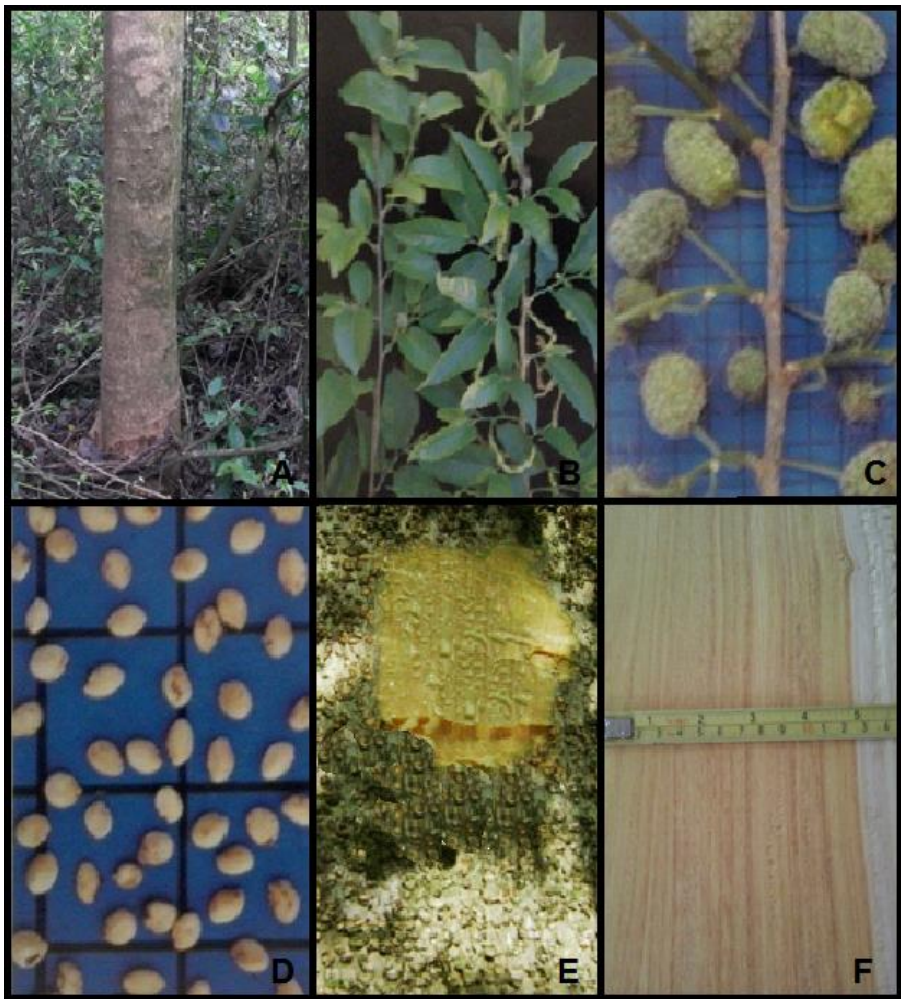
Apresenta folhas simples com disposição alternada, de forma ovaladas a elípticas, com margens serreadas, apresentando a face inferior de cor verde mais clara (LORENZI, 2008; PAULA e ALVES, 2007).

Desenvolve uma copa ampla e com galhos grossos, os quais podem atingir até 17 metros de comprimento. Apresenta tronco retilíneo, geralmente curto, e casca castanho-acinzentada com espinhos ramificados (PAULA; ALVES, 2007). Todas as

partes da planta exsudam um látex amarelado quando ferida a sua casca interna (LORENZI, 2008; MARCHIORI, 1997).

De acordo com as características sucessionais, é classificada como não tolerante à sombra (BORGO, 2010), secundária inicial (GARCIA et al., 2011) ou clímax exigente de luz (TONIATO; OLIVEIRA FILHO, 2004). Nos locais onde ela ocorre indica-se que o solo contém fertilidade química alta. Suas sementes não exibem dormência tegumentar, e possuem comportamento recalcitrante em relação ao armazenamento, tornando-se inviáveis rapidamente quando conservadas em ambiente não controlado (CARVALHO, 2003; GOMES et al., 2010).

Figura 1 – A espécie de *Maclura tinctoria:* tronco (A); folhas (B); frutos (C); sementes (D); látex exsudando no tronco (E); madeira (F)




Fonte: A, E e F (Autor); B, C e D adaptação de Lorenzi (2008).

### 2.1.4 Produtos e utilizações

A madeira de Tajuva apresenta boas propriedades mecânicas, e também excelente resistência ao ataque de organismos xilófagos. Essas características fazem com que a espécie apresente uma variada gama na utilização de sua madeira, como por exemplo, o uso na fabricação de móveis, revestimentos decorativos, tábuas, laminados, objetos torneados, carroçarias e carpintaria em geral, e na construção civil, como vigas, caibros, ripas, tacos e tábuas para assoalho, parquetes e batentes de portas e janelas, conforme descrito por Carvalho, (2003), Gomes et al. (2003), Lorenzi, (2008), Paula e Alves (2007).

É uma madeira indicada para construções externas, como postes, esteios, mourões, vigamento de pontes, dormentes, cruzetas. E na construção naval, como piso de convés e degrau de escadas (CARVALHO, 2003; LORENZI, 2008). Devido a essa madeira possuir boa flexibilidade, recomenda-se ainda para cabos de ferramentas (MARCHIORI, 1997).

Como produto não madeireiro, a espécie é muito utilizada para tratar doenças do sistema osteomuscular, como reumatismo (MONTELES; PINHEIRO, 2007), dor de dente (durante a extração) e úlcera (SCHWENK; SILVA, 2000), através do líquido leitoso exsudado pela casca e folhas. Assim como, na cicatrização de feridas e no tratamento de hérnias (BERG; SILVA, 1986, BRAGA, 1976).

## 2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

### 2.2.1 Massa específica

A massa específica é um dos principais parâmetros utilizados para expressar a qualidade da madeira, devido à sua relação com as demais propriedades físicas e mecânicas e por ser de fácil determinação (BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010; CRUZ; LIMA; MUNIZ, 2003; GONÇALVES et al. 2009; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

Com isso, essa variável está intimamente ligada às características do produto final, sendo considerada como um índice de qualidade que auxilia na interpretação das características da madeira, o que permite designá-la corretamente para determinados usos (RODRIGUES et al., 2008; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989).

A massa específica da madeira expressa a quantidade de material lenhoso contido em determinado volume de madeira ou, de forma inversa, do volume de espaços vazios existentes na madeira (MORESCHI, 2012).

Essa propriedade física apresenta uma grande variação entre os diferentes indivíduos, entre indivíduos da mesma espécie, e até dentro da mesma árvore, podendo variar tanto no sentido longitudinal do tronco, ou seja, da base para o topo da árvore, como no sentido radial, da medula para a casca (BARRICHELLO et al., 1983). O conhecimento dessas variações é de suma importância para que se possa avaliar melhor a qualidade de determinada espécie, e assim, realizar da forma mais correta a caracterização de sua madeira (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005; VALE; MARTINS; ARAÚJO, 1992).

Essa variação se dá em decorrência da complexa combinação entre os constituintes anatômicos da madeira, como por exemplo, fibras, traqueoides e vasos. Por esses elementos apresentarem variação em relação ao comprimento, largura e espessura da parede celular, assim como à quantidade de proporção e distribuição dos tecidos no lenho para as diferentes espécies, as massas específicas das madeiras também apresentaram grande variação (LOPES; GARCIA, 2002; SILVA et al., 2004).

Existem dois tipos de massa específica que podem ser avaliadas para qualificar uma madeira, a aparente e a aparente básica. A massa específica aparente (Mea) é obtida pela relação entre o peso e o volume a um mesmo teor de umidade, o qual sempre deverá ser especificado. Como referências, são utilizados os teores de umidade fixos de 0, 12 e 15% (MORESCHI, 2012). Sua determinação apresenta um grande interesse do ponto de vista prático, devido ao fato da mesma possuir a influência da porosidade da madeira (OLIVEIRA, 1997).

Por ser difícil determinar com exatidão o volume de uma amostra a 0% de umidade, pelo fato da madeira começar a adsorver umidade do ambiente assim que é retirada da estufa, determina-se a massa específica aparente básica, a qual é obtida pela relação entre o peso seco em estufa e o volume saturado (acima do ponto de saturação das fibras) de uma amostra de madeira (OLIVEIRA, 1997; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989).

Na Tabela 1, encontram-se os valores de massa específica aparente, a 15% de teor de umidade de equilíbrio, para algumas espécies nativas de ocorrência no sul do Brasil.

Tabela 1 – Valores médios de massa específica aparente, com teor de umidade a 15%, para madeiras de espécies florestais com ocorrência no sul do Brasil

| Nome popular | Nome científico | Média ($g.cm^{-3}$) |
|---|---|---|
| Louro-pardo | *Cordia trichotoma* | 0,65 |
| Angico-vermelho | *Parapiptadenia rigida* | 0,88 |
| Guajuvira | *Patagonula americana* | 0,79 |
| Grápia | *Apuleia leiocarpa* | 0,82 |
| Cabriúva | *Myrocarpus frondosus* | 0,89 |
| Açoita-cavalo | *Luehea divaricata* | 0,67 |
| Canela-lageana | *Ocotea pilchella* | 0,62 |
| Canela-guaica | *Ocotea puberula* | 0,48 |
| Cedro | *Cedrela fissilis* | 0,57 |
| Pinheiro brasileiro | *Araucaria angustifolia* | 0,56 |

Fonte: Adaptação de Pedroso; Mattos (1987).

Em relação à madeira de *Maclura tinctoria*, Paula e Alves (2007) relatam que essa espécie apresenta uma madeira moderadamente dura, com uma Mea na ordem de 0,76 $g.cm^{-3}$, a 15% de umidade. Enquanto Lorenzi (2008) e Marchiori (1997) descrevem como uma madeira pesada e dura, que apresenta uma Mea variando entre 0,84 a 0,98 $g.cm^{-3}$.

Em estudo realizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (1997) com madeiras da Amazônia, foram encontradas para a madeira da Tajuva as seguintes massas específicas: aparente verde (acima do PSF): 1,22 $g.cm^{-3}$; aparente básica: 0,73 $g.cm^{-3}$ e aparente a 12%: 0,91 $g.cm^{-3}$.

Pedroso e Mattos (1987) ao estudarem algumas madeiras do estado do Rio Grande do Sul, encontraram para a espécie uma massa específica aparente de 0,84 g.cm-³, ao teor de umidade de 15%. Esse valor assemelha-se com o descrito por Mainieri e Chimelo (1989), em que para o mesmo teor de umidade encontrou uma massa específica aparente de 0,88 $g.cm^{-3}$, e que também classificou como pesada a madeira para essa espécie.

### 2.2.2 Teor de umidade da madeira

O teor de umidade da madeira (TU) corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, conforme descrito pela Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) (1997), e é expressa em percentagem.

O teor de umidade da madeira interfere em diversos tratamentos, como curvamento, preservação, secagem, colagem, fabricação de compensados e aglomerados, produção de carvão vegetal, processamento mecânico (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985), e também tem influência direta em suas propriedades físicas e mecânicas (GLASS; ZELINKA, 2010), assim como em sua durabilidade, pois elevada umidade da madeira possibilita o ataque de organismos xilófagos, comprometendo muitas vezes a sua utilização (SANTOS, 2002).

A resistência mecânica da madeira varia com seu teor de umidade. Com o seu aumento observa-se uma diminuição em sua resistência, essa diminuição é mais sensível para baixos teores de umidade, e é praticamente desprezível para teores de umidade acima do PSF (LOGSDON; CALIL JUNIOR, 2002). Abaixo do PSF a resistência mecânica da madeira aumenta com a diminuição do teor de umidade (GREEN; WINANDY; KRETSCHMANN, 1999; HASELEIN et al., 2002). Esse fato é devido à contração da madeira, pois ao perder umidade, os constituintes da parede celular se aproximam, aumentando substancialmente a quantidade de ligações por pontes de hidrogênio (STAMM, 1964).

As propriedades mecânicas não são afetadas na mesma proporção com a variação do teor de umidade da madeira. Enquanto algumas propriedades, como a resistência à flexão estática e à compressão aumentam consideravelmente com o decréscimo de umidade, outras, como a rigidez, variam moderadamente (LUCAS FILHO, 1997).

Em relação às propriedades físicas, o teor de umidade apresenta maior influência sobre a estabilidade dimensional da madeira. Suas dimensões se modificam substancialmente com a variação da umidade, no intervalo de 0% até o PSF. Neste intervalo, também chamado de intervalo higroscópico, ao aumentar o teor de umidade, as dimensões da madeira aumentam (inchamento) e ao diminuir o teor de umidade, as dimensões diminuem (retração) (LOGSDON, 1998). Para a variação do teor de umidade acima do PSF, o inchamento volumétrico da madeira é praticamente constante (KOLLMANN; COTÉ, 1984).

O teor de umidade presente na madeira está negativamente correlacionado com a sua densidade, pois madeiras com maior densidade apresentam menor volume de espaços internos vazios e, portanto, menor capacidade de armazenamento de umidade máxima. Por outro lado, madeiras com baixa

densidade, apresentam uma elevada capacidade de preenchimento com água no seu interior (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005).

A estrutura anatômica também tem grande influência no teor de umidade da madeira. Por exemplo, dentro de um mesmo anel de crescimento, o lenho inicial é constituído por células de paredes finas e lúmens grandes, o que faz com que normalmente contenha mais água em relação ao lenho tardio, o qual é formado por células com paredes espessas e lúmens pequenos (MORESCHI, 2012).

O conhecimento e o controle do teor de umidade de uma peça de madeira são indispensáveis para a sua correta utilização, evitando-se assim, o aparecimento de defeitos como empenamentos, torções, fendas, rachaduras, dentre outros ( PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

A fim de evitar defeitos na madeira durante a sua utilização, é importante deixá-la com um teor de umidade correspondente ao ambiente em que será utilizada. Pois quando a madeira é seca a um teor de umidade próximo a suas condições de uso seus problemas referentes à umidade são minimizados ou definitivamente eliminados (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010; SILVA; OLIVEIRA, 2003).

### 2.2.3 Retratibilidade

A retratibilidade da madeira é considerada uma das propriedades físicas mais importantes, e que normalmente é utilizada como índice de qualidade da madeira. Essa propriedade geralmente está associada a empenamentos e rachaduras nas peças serradas (RODRIGUES et al., 2008).

O fenômeno da retratibilidade também é conhecido como instabilidade dimensional da madeira, e permite a classificação da madeira para determinadas utilizações (GONÇALVES, 2006), principalmente quando se avalia o potencial de uso para a indústria madeireira (CRUZ et al.; 2003), pois essa é uma variável que pode muitas vezes limitar e, até mesmo, desqualificar o produto para algumas finalidades (MOURA, 2000).

A madeira é um material higroscópico, sendo capaz de absorver ou perder água de acordo com a umidade do ambiente, em que ocorrerá, respectivamente, o inchamento e contração da madeira. Por apresentar essa característica, a madeira e vários outros materiais celulósicos, apresentam contração quando o teor de umidade

do PSF é reduzido até a condição absolutamente seca ou anidra (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

A madeira também se apresenta como um material anisotrópico, ou seja, comporta-se de maneira diferente nos seus três sentidos anatômicos. No que diz respeito à estabilidade dimensional, a maior alteração se manifesta no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pelo sentido radial, sendo praticamente desprezível no sentido longitudinal (KRETSCHMANN, 2010; OLIVEIRA et al., 2010). Essa variação dimensional da madeira é um problema relevante que ocorre durante a sua utilização, como consequência da mudança do teor de umidade, e que deve ser considerado para se determinar qual o melhor uso final para a mesma (SILVA; OLIVEIRA, 2003).

Outro importante índice para avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente anisotrópico, definido pela razão entre as contrações tangencial e radial (T/R), e que também é chamado de fator de anisotropia, e geralmente varia de 1,5 a 2,5. Esse índice tornou-se relevante nos estudos de contração da madeira; quanto maior essa relação, maior será a tendência a formar fendas e empenamento na madeira. Para usos que envolverem estabilidade dimensional da madeira, a mais recomendada é aquela que apresentar a menor taxa T/R (OLIVEIRA; SILVA, 2003; SILVA; OLIVEIRA, 2003). Madeiras com um coeficiente de anisotropia superior a 2, geralmente são muito difíceis de secar e como regra geral madeiras que contraem menos são mais estáveis (GONÇALVES, 2006).

De acordo com Trugilho et al. (2002) e Rocha (2000), a massa específica e a variação dimensional da madeira das espécies florestais apresentam correlação positiva, sendo que normalmente as de maior massa de madeira por unidade de volume apresentam maior variação dimensional. Isso ocorre devido a essas apresentarem maior concentração de células de paredes mais espessas, sendo propensas a absorverem mais água por unidade de volume. Em consequência disso, ocorre uma expansão ou contração mais elevada nas madeiras de maior massa específica. Moreira (1999), em estudo com madeiras de várias espécies, verificou que a contração radial e volumétrica aumentou no sentido medula-casca, como um reflexo do incremento à massa específica.

Na Tabela 2 encontram-se valores médios de contrações tangencial, radial e volumétrica para algumas espécies nativas de ocorrência no sul do Brasil.

Tabela 2 – Valores médios de contrações tangencial, radial e volumétrica para madeiras de espécies florestais com ocorrência no sul do Brasil

| Nome popular | Nome científico | βt | Br | βv |
|---|---|---|---|---|
| Louro-pardo | *Cordia trichotoma* | 7,99 | 3,87 | 12,74 |
| Angico-vermelho | *Parapiptadenia rígida* | 9,15 | 3,77 | 15,54 |
| Guajuvira | *Patagonula americana* | 7,79 | 5,46 | 13,94 |
| Grápia | *Apuleia leiocarpa* | 7,41 | 3,33 | 13,02 |
| Cabriúva | *Myrocarpus frondosus* | 7,05 | 3,58 | 11,14 |
| Açoita-cavalo | *Luehea divaricata* | 8,30 | 3,38 | 13,66 |
| Canela-lageana | *Ocotea pilchella* | 10,37 | 4,16 | 17,26 |
| Canela-guaica | *Ocotea puberula* | 9,35 | 2,68 | 15,19 |
| Cedro | *Cedrela fissilis* | 6,7 | 1,57 | 14,70 |
| Pinheiro brasileiro | *Araucaria angustifolia* | 7,35 | 3,62 | 12,98 |

Fonte: Adaptação de Pedroso; Mattos (1987).
Em que: βt, βr e βv = contração tangencial, radial e volumétrica, respectivamente.

Conforme Mainieri e Chimelo (1989), a madeira da Tajuva apresenta uma baixa instabilidade dimensional, apresentando valores médios de contração radial, tangencial e volumétrica de 2,3, 4,3, e 7,2 %, respectivamente. Esses resultados assemelham-se aos descritos por Pedroso e Mattos (1987) em que para essas três contrações encontraram, respectivamente, 2,4, 4,6 e 7,4%. Enquanto IBAMA (1997) encontrou para a contração radial, tangencial e volumétrica, respectivamente, 3,2, 5,9 e 9,4%, além de um coeficiente de anisotropia de 1,8, indicando a boa estabilidade dessa madeira.

## 2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

As propriedades mecânicas da madeira estão divididas em dois grupos: resistência e elasticidade. As propriedades relacionadas à resistência incluem as propriedades de compressão paralela e perpendicular à fibra, flexão estática e dinâmica, tração e cisalhamento. Já nas propriedades relacionadas com a elasticidade da madeira, está incluso o módulo de elasticidade à flexão estática, que determina a rigidez da madeira, coeficiente de Poisson, plasticidade e resiliência (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; RODRIGUES, 2002; SCANAVACA JÚNIOR, 2001).

Elasticidade é a propriedade da madeira sólida que a possibilita retornar à sua forma original, após a remoção da carga aplicada que causou certa deformação, sendo que essa deformação é proporcional à sua intensidade (MORESCHI, 2012).

As propriedades mecânicas são fortemente influenciadas por diversos fatores, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, percentagem de lenho inicial e lenho tardio, duração da tensão e da deformação, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; MORESCHI, 2012).

A madeira por ser um material anisotrópico apresenta comportamento diferente em cada uma das suas direções. Isso acarreta em propriedades mecânicas únicas e independentes nos seus três sentidos anatômicos (KRETSCHMANN, 2010).

A propriedade de flexão estática fornece importantes informações de resistência da madeira, pois envolve ao mesmo tempo o comportamento da madeira à compressão, tração e cisalhamento. O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente determinados em testes de flexão estática, sendo de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, uma vez que se permite o conhecimento da resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da madeira, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais (SILVA et al., 2005; SCANAVACA JR.; GARCIA, 2004).

A capacidade que a madeira apresenta em absorver o impacto provocado por tensões para além do limite proporcional é denominada de resistência ao impacto. Essa capacidade é de grande relevância e deve ser avaliada na obtenção de produtos oriundos da madeira, especialmente quando a finalidade de uso do material estiver ligada diretamente com o impacto, como em cabos de ferramentas, na construção de escadas, carrocerias e também certos artigos esportivos (KRETSCHMANN, 2010; MORESCHI, 2012).

A dureza é compreendida como a resistência à penetração de outro material sólido quando este lhe aplica uma carga. Na prática, é calculada quando se aplica uma carga para penetrar uma esfera de tamanho padrão e suas faces (TOMASELLI; BINDER, 1981). De acordo com Martins (2010), a dureza está relacionada com a capacidade que um material tem de resistir a riscos, principalmente quando utilizado em assoalhos. A sua avaliação é importante quando se utiliza a madeira para determinados usos, como por exemplo, madeira para pavimentos e materiais desportivos (RAMOS, 2009).

A compressão paralela é determinada com a aplicação de uma carga, com velocidade conhecida e controlada, exercendo pressão no sentido longitudinal da peça até que ocorra a ruptura do corpo de prova (MORESCHI, 2012). Conforme Ramos (2009) a madeira apresenta uma resistência menor a esforços de compressão axial do que os metais, mas é mais resistente que outros materiais de construção, como o tijolo e a pedra.

Já a compressão perpendicular é utilizada para avaliar a madeira para utilização mais específica, como dormentes, construção civil ou carpintaria, simulando a carga que o material é submetido durante o uso, pois muitas vezes quando está sendo utilizada para determinado fim, a madeira sofre esforços no sentido perpendicular ao seu eixo (MORESCHI, 2012). No teste não há ruptura da madeira e sim a tensão no limite proporcional, podendo ser calculado também o módulo de elasticidade (MARTINS, 2010).

A determinação da resistência da madeira à tração axial é de difícil e complexa obtenção, o que faz com que essa propriedade não seja muito empregada em estudos tecnológicos. Com isso, a tração perpendicular é a mais utilizada em pesquisas científicas. Porém a finalidade, importância e precisão desse teste muitas vezes é contestada devido ao uso da madeira em situações que a exponha à tensões perpendiculares à grã ser evitada, pelo fato de sua resistência ser muito baixa neste sentido e ainda decrescer mais com as inevitáveis rachaduras de contração (MORESCHI, 2012). A resistência à tração é muito influenciada pela presença de nós, grã espiralada, fendas, bem como outros defeitos (RAMOS, 2009).

O teste de cisalhamento descreve resistência ao deslizamento de uma parte interna da madeira sobre a outra, ao longo das fibras, ou seja, é a separação das fibras por um esforço no sentido longitudinal às mesmas. Nesse teste ocorre a aplicação de uma carga em uma área específica da madeira, que suportará até a sua ruptura.

A tensão máxima de cisalhamento refere-se ao esforço aguentado por um material antes da ruptura. Esse teste torna-se importante quando se deseja avaliar madeiras que serão usadas como roletes, postes, polias, vigas, entre outros (KRETSCHMANN, 2010; MORESCHI, 2012).

## 2.4 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA

A durabilidade natural da madeira pode ser definida como sendo a capacidade que uma determinada espécie apresenta de resistir à ação dos diferentes agentes deterioradores (biológicos, físicos e químicos) sem a necessidade de utilizar substâncias químicas preservativas (PAES, 2002; EATON; HALE, 1993; SANTINI, 1988).

Os principais componentes intrínsecos da madeira que a auxiliam para a sua durabilidade natural são os polímeros da parede celular e os extrativos presentes na forma de terpenos, e polifenóis condensados como quinonas, lignanas, taninos e estilbenos (ALMEIDA et al., 2012).

A durabilidade natural da madeira é um dos principais fatores para que se possa recomendar o emprego mais adequado do produto final. Através do conhecimento da resistência à degradação da madeira de uma dada espécie, pode-se direcionar o seu uso mais apropriado, e assim, evitar perdas e gastos financeiros desnecessários com a reposição de peças deterioradas, além de reduzir os impactos sobre as florestas remanescentes (ALVES et al., 2006; PAES et al., 2004; MENDES; ALVES, 1988).

Em decorrência de sua estrutura e constituição química, nenhuma madeira, nem mesmo aquelas de elevada durabilidade natural, é capaz de resistir indefinidamente às condições desfavoráveis do meio em que se encontra (ALVES et al., 2006; CARVALHO et al., 2015; OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005). Sob condições propícias de umidade, temperatura, oxigênio e pH, todas as madeiras tornam-se naturalmente aptas para serem colonizadas por organismos deterioradores (TEIXEIRA et al.,1997; ARCHER; LEBOW, 2006).

Independente do agente causador da degradação, diversas alterações indesejáveis podem ocorrer na madeira, de modo a interferir nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Os organismos biológicos degradam a madeira para utilizar os seus constituintes como fonte de nutrição, bem como para abrigo. Já os agentes físicos e químicos atuam em conjunto com os biológicos, intensificando o processo de degradação (VIVIAN et al., 2015).

Dos agentes deterioradores da madeira, os principais são os agentes biológicos, representados por bactérias, fungos, insetos e xilófagos marinhos. Dentre esses, os fungos são, provavelmente, os que mais atacam a madeira e seus

derivados, e por consequência os que causam as maiores degradações e prejuízos (SILVA, 2014; MORESCHI, 2013). Esses microrganismos são os principais responsáveis pela destruição de produtos à base de madeira, tanto na construção civil como na rural, como postes, dormentes, cercas, dentre outros (BARILLARI, 2002; STANGERLIN, 2013).

Essa elevada degradação da madeira pelos fungos está relacionada com o fato desses serem os principais decompositores de celulose, hemicelulose e lignina, os principais constituintes da madeira (ALEXOUPOULOS et al. 1996).

Os fungos que degradam a madeira se dividem em emboloradores, manchadores e apodrecedores. Esses últimos são o grupo que mais deterioram a madeira, que resulta em uma elevada degradação do material (PALA, 2007; STANGERLIN, 2013).

Ao considerar os fungos apodrecedores, podem-se destacar aqueles pertencentes à classe dos Basidiomicetos, no qual são divididos de acordo com a sua preferência alimentar: podridão parda, branca e mole (BLANCHETTE, 1990; ZABEL; MORRELL, 1992).

Esses fungos apresentam características enzimáticas próprias quanto à decomposição de alguns constituintes da madeira (ALMEIDA et al., 2012). Eles atuam através da penetração de suas hifas pelo lúmen das células, as quais depois de instaladas produzem uma gama de metabólitos extracelulares que vão, assim, atuar degradando os componentes da parede celular vegetal (ARANTES; MILAGRES, 2009).

Os fungos de podridão parda deterioram os polissacarídeos (celulose e hemicelulose) da parede celular, à medida que a lignina é somente modificada estruturalmente (ERIKSSON; BLANCHETTE, 1990; GREEN; HIGHLEY, 1997), e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os causadores da podridão branca atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina, de modo que a madeira adquire um aspecto mais claro (ARANTES; MILAGRES, 2009; BARREAL, 1998; OLIVEIRA et al, 1986; OLIVEIRA et al. 2005; VIVIAN et al., 2015; ZABEL; MORRELL, 1992).

A madeira atacada por fungos de podridão branca apresenta tendência de perder seu aspecto lustroso e sua cor natural, tornando-se esbranquiçada, como resultado da destruição de pigmentos, além de normalmente apresentar linhas

escuras demarcando o limite entre as regiões atacadas e não atacadas (MORESCHI, 2013; SANTINI, 1988).

Enquanto isso os fungos da podridão mole atuam e amolecem as superfícies das madeiras, devido à degradação da hemicelulose e celulose. Podem ainda degradar tanto os polissacarídeos quanto a lignina, porém em velocidades muito reduzidas (RYVARDEN, 2007).

A madeira atacada tanto pela podridão parda quanto pela branca apresenta perda de peso e diminuição de sua resistência (MORESCHI, 2013). Os fungos causadores da podridão branca deterioram em maior grau madeiras de folhosas (CURLING; WINANDY; CLAUSEN, 2000), enquanto que os da parda apresentam certa preferência por madeiras de coníferas (HIGHLEY, 1982; HIGHLEY et al.1985).

## 2.5 COLORIMETRIA

A cor é um atributo que causa impacto visual se sobrepondo às demais variáveis que caracterizam um produto, já que é um dos primeiros contatos que se tem com uma matéria, podendo indicar de forma imediata sua finalidade e aceitação ou não (MORI et al., 2005).

Isso torna a cor um importante critério para avaliar a qualidade de produtos de madeira. A sua precisa descrição permite uma classificação e melhor valorização de produtos finais de madeira (PINCELLI et al., 2012).

A cor tem essa importância, por ser a propriedade organoléptica que quando associada a outros aspectos como textura e desenho facilitam a identificação e indicação de usos da madeira (GONÇALVES e MACEDO, 2003). Em virtude disso, esta variável deve ser englobada à elaboração de estudos visando à caracterização tecnológica da madeira, para atender aos seus diversificados usos (MORI et al., 2005).

A variação da cor natural da madeira se dá em decorrência da impregnação de diversas substâncias orgânicas nas paredes celulares dos elementos anatômicos tais como tanino e resinas, as quais são depositadas de forma mais acentuada no cerne (MENDES et al., 2002)

Segundo Mady (2000), a cor da madeira se origina da constituição química presente no xilema, como os polifenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas, dentre outros, o que faz apresentar cores diferenciadas de lenho. As características

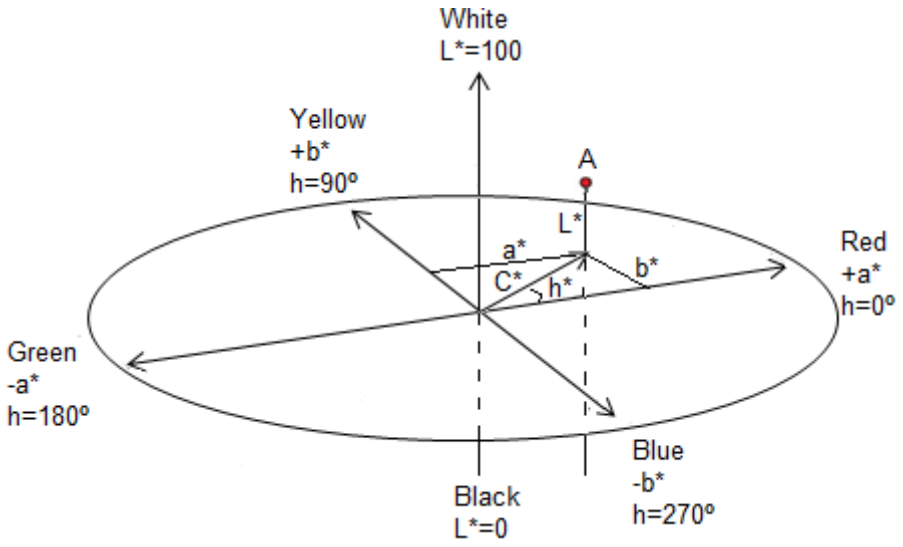
anatômicas, tais como camadas de crescimento, vasos, raios e tipos de parênquima axial também auxiliam para a cor da madeira.

O resultado na mudança de cor da madeira, que ao longo do tempo pode se tornar mais escura ou mais clara, está relacionada com a influência de alguns agentes externos nos componentes estruturais e extrativos da madeira, como por exemplo, a radiação ultravioleta, que provoca degradação de elementos constituintes, em especial a lignina (HON; CHANG, 1985; ROWELL, 1990).

A colorimetria é o método mais eficaz para a medição da cor da madeira, pois descreve cada elemento da composição de uma cor numericamente por meio de um aparelho apropriado, podendo ser o colorímetro ou o espectrofotômetro. Recentemente, um dos sistemas mais utilizados para medição de cores é o CIELAB, o qual trabalha de acordo com a Norma CIE (Commission International de L'Éclairage) (PINCELLI; MOURA; BRITO, 2012).

A utilização da colorimetria, através do sistema CIELAB está sendo extensamente aplicada para determinar parâmetros para identificação de espécies e indicações de empregos para a madeira (CAMARGOS, 1999). Esse é um método que define a sensação da cor baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade em um espaço tridimensional (L*, a* e b*) (Figura 2).

Figura 2 – Sistema de coordenadas de cores CIELAB 1976




Fonte: Adaptação de Johansson (2008).

A luminosidade ou claridade representa a escala cinza entre o branco e o preto. É expressa pela variável “L” e assume o valor 0 para o preto absoluto e 100 para o branco total (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; PINCELLI et al., 2012; ZANUNCIO; FARIAS; SILVEIRA, 2014).

A tonalidade (h*) é expressa pelo ângulo de tinta, e deriva de duas coordenadas cromáticas (a* e b*), as quais descrevem as cores primárias vermelho, verde, amarelo e azul. A coordenada cromática a* correspondente à posição do ponto de cor sobre o eixo verde-vermelho, e a coordenada cromática b* corresponde à posição do mesmo ponto de cor sobre um eixo azul-amarelo (STANGERLIN, 2012).

A classe de coloração de uma madeira apresenta diversas tonalidades que vai desde o bege claro até o marrom escuro, quase preto. Entre essa variação de cores verificam-se madeiras amareladas, avermelhadas, arroxeadas e alaranjadas (MORI et al.,2005).

# 3 MATERIAIS E MÉTODOS

## 3.1 SELEÇÃO DO MATERIAL

A madeira de *Maclura tinctoria* utilizada para a realização desse trabalho foi obtida de cinco árvores, retiradas de um povoamento florestal natural localizado no município de Porto Mauá, no noroeste do Rio Grande do Sul. A cidade situa-se nas coordenadas geográficas de 27° 34' 12'' de latitude sul e 54° 39' 55'' de longitude oeste, em uma altitude média de 108 metros. O clima do município, segundo classificação de Köppen, é do tipo Subtropical Úmido. A temperatura média anual é 20,9 °C com precipitação média anual de 1700 mm. A cobertura florestal é representada pelo bioma Mata Atlântica. E os solos são, na sua maioria, classificados em dois tipos: os latossolos e os neossolos.

Antes da coleta do material, obteve-se a licença ambiental junto ao IBAMA para a extração das árvores selecionadas, conforme legislação vigente. Material botânico foi coletado das árvores para exame no Herbário Florestal da Universidade Federal de Santa Maria com objetivo de identificar corretamente a espécie.

Após a liberação do licenciamento ambiental, efetuou-se o corte das árvores. Para cada indivíduo, determinou-se a altura comercial (Hc), baseada no diâmetro mínimo de 12 cm, e o diâmetro à altura do peito (DAP), que é medido a 1,3 m de altura (Tabela 3).

Tabela 3 – Características dendrométricas das árvores de *Maclura tinctoria*

| Árvore | DAP (cm) | Ht (m) | Hc (m) |
|---|---|---|---|
| 1 | 43,0 | 20,0 | 14,8 |
| 2 | 24,0 | 14,5 | 9,4 |
| 3 | 28,0 | 17,5 | 12,5 |
| 4 | 25,0 | 12,5 | 7,5 |
| 5 | 24,0 | 14,0 | 7,7 |

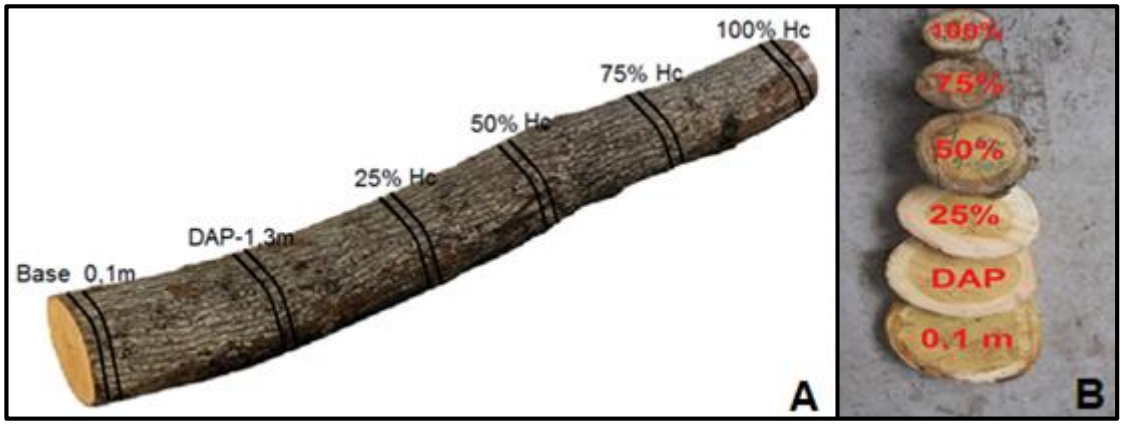
Fonte: Autor
Em que: DAP: diâmetro à altura do peito; Ht: altura total e Hc: altura comercial.

## 3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

### 3.2.1 Massa específica básica

Para a determinação da massa específica básica (Meb), foram utilizados discos sem casca de 5,0 cm de espessura de seis posições do tronco: 0,1 m, DAP e a 25, 50, 75 e 100% da Hc (Figura 3).

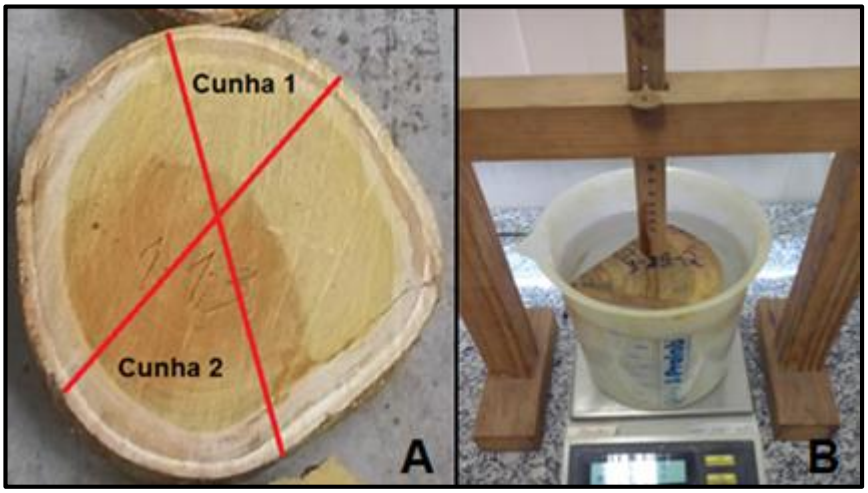
Figura 3 – Amostragem para a determinação da massa específica básica. Representação da Posição de retirada dos discos no tronco (A); Discos identificados em razão da posição de retirada (B)




Fonte: Autor.

De cada disco, obtiveram-se cunhas diametrais opostas (Figura 4A), as quais foram submersas em água até atingirem a saturação (peso constante). A determinação do volume saturado das cunhas realizou-se pelo método de imersão em água sobre balança hidrostática (Figura 4B), conforme a norma ASTM D 2395 – 93 (1997). O peso seco foi obtido após a secagem em estufa a 103 ± 2ºC, através de pesagens sucessivas até peso constante, de acordo com norma ASTM D 4442 – 92 (1997).

Figura 4 – Determinação da massa específica básica. Obtenção das cunhas a partir dos discos (A); Determinação do volume saturado das cunhas pelo método de imersão em água sobre balança hidrostática (B)




Fonte: Autor.

Com o volume saturado e peso seco das cunhas determinados, efetuou-se o cálculo da massa específica básica, conforme Equação 1.

$$Meb = \frac{Ms}{Vu} \tag{1}$$

Em que: Meb = Massa específica básica ($g.cm^{-3}$); Ms = Massa seca em estufa a 103±2°C (g) e Vu = Volume saturado ($cm^3$).

Da mesma maneira se determinou a massa específica verde (Mev) utilizando-se a mesma equação anterior, porém, ao invés da massa seca em estufa foi utilizada a massa verde das cunhas dos discos.

A partir da determinação da massa específica básica da madeira em cada posição relativa do tronco calculou-se a massa específica básica ponderada ($Meb_{pond}$) em função do volume total sem casca de cada árvore, em $g.cm^{-3}$. Esse cálculo baseia-se na ponderação dos valores de massa específica básica obtida em cada posição relativa (Meb “i”), em $g.cm^{-3}$, e os volumes sem casca correspondentes entre duas posições sucessivas (v1, v2, vi), em $m^3$. Com o volume total sem casca da árvore (vs), em $m^3$, definido pelo método de Smalian. Assim, a massa específica básica ponderada foi definida pela Equação 2:

$$Meb_{pond} = \frac{\sum Meb_i V_i}{V} \quad (2)$$

Em que: $Meb_{pond}$ = massa específica básica ponderada em função do volume da árvore, $g.cm^{-3}$; $Meb_i$ = massa específica básica na posição "i", $g.cm^{-3}$; $V_i$ = Volume sem casca da tora entre duas posições sucessivas ($m^3$); V = volume total sem casca da árvore ($m^3$).

Assim como a Meb, a Mev foi ponderada em função do volume total da árvore, conforme equação anterior, no entanto, ao invés da Meb, utilizou-se a Mev das posições relativas do tronco.

### 3.2.2 Teor de umidade da madeira

O teor de umidade máximo ($TU_{máx}$) da madeira em cada posição relativa do tronco foi calculado em relação à base seca, conforme Equação 3.

$$TU(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100 \quad (3)$$

Em que: $TU_{máx}$ = Teor de umidade máximo (%); Mu = Massa saturada (g) e Ms = Massa seca em estufa a 103±2°C (g).

O teor de umidade máximo da madeira ao longo do tronco das árvores foi ponderado em função do volume total das mesmas, semelhante ao descrito na Equação 2, porém, substituiu-se a Meb de cada posição do tronco pela $TU_{máx}$ correspondente.

### 3.2.3 Contração

Para a determinação da contração, foram confeccionados 32 corpos de prova para a contração tangencial, 30 corpos de prova para contração radial e 30 para contração longitudinal nas dimensões 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, sendo a maior medida no sentido da contração a ser determinada (Figura 5), conforme a norma ASTM D143-94 (ASTM, 2005).

Figura 5 – Amostragem para determinação da retratibilidade: contração radial (A) e contração tangencial (B)

Fonte: Autor

Da mesma maneira, determinou-se a contração volumétrica da madeira, através da relação entre o volume saturado e o absolutamente seco (0% de teor de umidade). As medições das dimensões tangenciais, radiais e longitudinais foram realizadas com um paquímetro digital, com precisão de 0,01mm, em locais previamente determinados e marcados nos corpos de prova.

Primeiramente foram determinadas as dimensões dos corpos de prova em estado verde nos sentidos radial, tangencial e longitudinal, além da obtenção do peso, e em seguida, foram acondicionados em câmara climatizada com 65% de umidade e temperatura de 20°C até que a madeira atingisse 12% de umidade de equilíbrio, aproximadamente. Posteriormente, realizaram-se mais duas etapas de medições e pesagem das amostras. A primeira quando as amostras estavam com teor de umidade (TU) estabilizado na câmara, e a segunda quando o TU atingiu 0%, após secagem em estufa a 103 ± 2°C.

A contração da madeira foi calculada pela relação entre a dimensão úmida e a dimensão seca em estufa para as direções radial (Rd), tangencial (Tg) e longitudinal (Lg), conforme Equação 4:

$$\beta(r,t,l) = \frac{Dv - Ds}{Dv} * 100 \qquad (4)$$

Em que: β (r,t,l) = contração, em uma dada direção estrutural (%); Dv = dimensão verde, em uma dada direção estrutural (cm) e Ds = dimensão seca, em uma dada direção estrutural (cm).

A partir da contração tangencial (βt) e da contração radial (βr) determinou-se o coeficiente de anisotropia (CA), conforme Equação 5:

$$CA = \frac{\beta t}{\beta r} \tag{5}$$

Em que: CA= coeficiente de anisotropia (adimensional); βt = contração tangencial (%) e βr = contração radial (%).

A contração volumétrica da madeira foi dada pela diferença entre o volume no estado saturado de umidade e no estado absolutamente seco, em relação ao volume da madeira no estado saturado de umidade, conforme Equação 6.

$$\beta vol = \frac{Vv - Vs}{Vv} * 100 \tag{6}$$

Em que: βvol = contração volumétrica da madeira (%); Vv = volume verde da madeira ($cm^3$); Vs = volume da madeira seca a 0% de umidade ($cm^3$)

## 3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Após a seleção das árvores no campo e o seccionamento das toras, essas foram transportadas para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para serem desdobradas em serra fita vertical (Figura 6A), e retirado um pranchão central de 8,0 cm de espessura com a presença da medula. Após, os pranchões foram gradeados em local arejado para uma secagem lenta e gradual (Figura 6B).

Figura 6 – Desdobro das toras de *Maclura tinctoria*: obtenção dos pranchões em serra fita vertical (A); pranchões gradeados para secagem (B)

Fonte: Autor.

A partir do momento que os pranchões atingiram um teor de umidade de aproximadamente 25%, as suas espessuras foram reduzidas para 6,0 cm, através de uma plaina desengrossadeira, para, então, serem transformados em peças de 6,0 x 6,0 cm, sem a presença da medula. Os procedimentos de confecção, dimensões, condicionamento e ensaio dos corpos de prova para os testes mecânicos seguiram a recomendação da norma D143-94 - ASTM (2005), com exceção do teste de flexão dinâmica que foi realizado conforme a norma NF B51-009 da Association Francaise de Normalization (AFN, 1942).

Os testes mecânicos realizados foram: compressão paralela e perpendicular às fibras, flexão estática, cisalhamento, flexão dinâmica, dureza Janka e tração perpendicular. As dimensões, velocidade dos ensaios e número de amostras, para cada uma das propriedades que foram analisadas, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Dimensões, velocidade de ensaio e número dos corpos de prova que foram utilizados na determinação das propriedades mecânicas

| **Propriedades Mecânicas** | **Dimensões dos corpos de prova** | **Velocidade do teste (mm/min)** | **Número de amostras** |
|---|---|---|---|
| Flexão estática | 2,5 x 2,5 x 41,0 | 1,3 | 44 |
| Compressão axial | 5,0 x 5,0 x 20,0 | 0,6 | 25 |
| Compressão perpendicular | 5,0 x 5,0 x 15,0 | 0,3 | 23 |
| Cisalhamento | 5,0 x 5,0 x 6,3 | 0,6 | 40 |
| Flexão dinâmica | 2,0 x 2,0 x 30,0 | - | 125 |
| Dureza Janka (A, R e T) | 5,0 x 5,0 x 15,0 | 6,0 | 22 |
| Tração Perpendicular | 5,0 x 5,0 x 6,5 | 2,5 | 46 |

Fonte: Adaptação de ASTM, 2005.

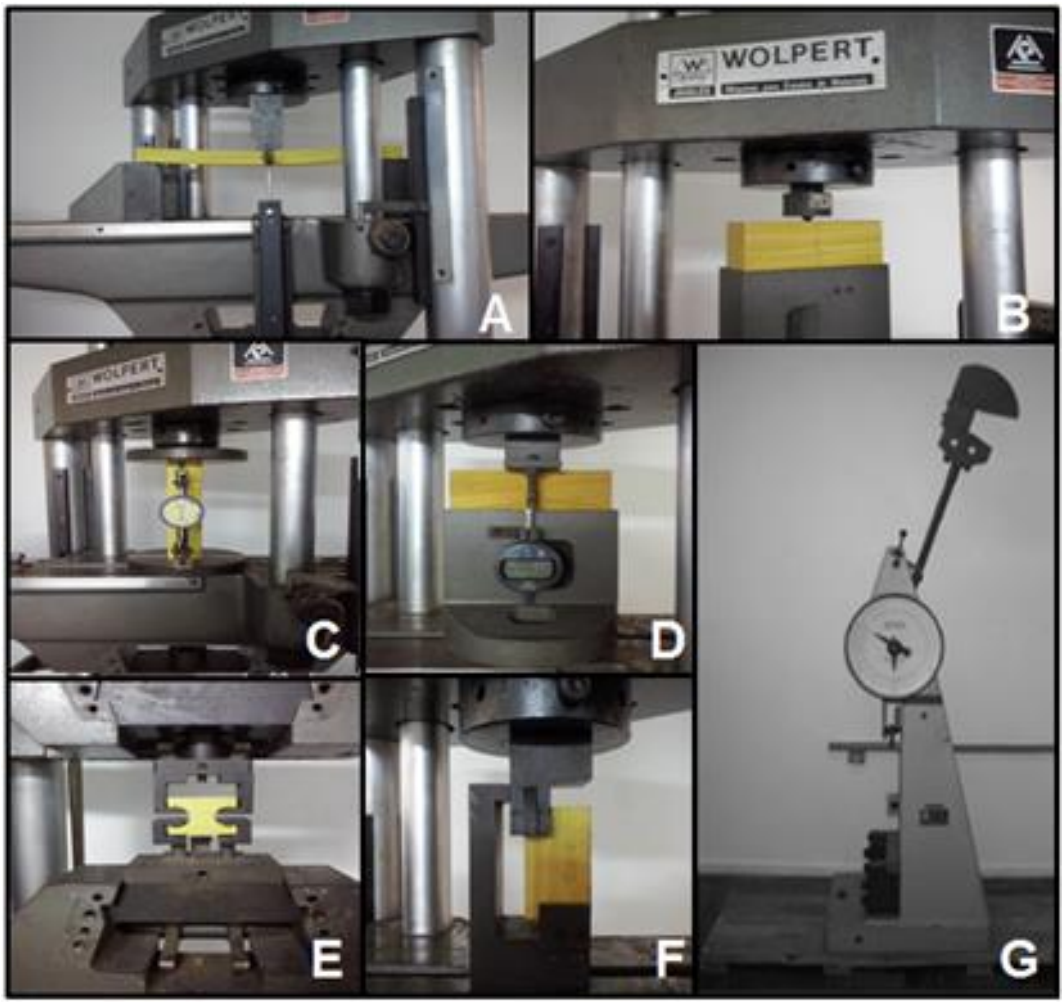
Após as confecções, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada a uma temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, em que permaneceram até atingirem uma umidade de equilíbrio em torno de 12%. Nesse momento todas as amostras foram pesadas e medidas suas dimensões nos três sentidos anatômicos para a determinação da massa específica aparente a 12% de umidade, conforme Equação 7.

$$Mea = \frac{P_{12\%}}{V_{12\%}} \tag{7}$$

Em que: Mea = Massa específica aparente(g.cm$^{-3}$); $P_{12\%}$ = Peso das amostras com teor de umidade a 12% (g) e $V_{12\%}$ = Volume das amostras com teor umidade a 12% (cm³).

Posteriormente a essa etapa, realizou-se os ensaios mecânicos na madeira (Figura 7), sendo que o ensaio de flexão dinâmica realizou-se no pêndulo de Charpy e os demais foram executados na Máquina Universal de ensaios mecânicos, ambos no Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Figura 7 – Ensaios mecânicos realizados na madeira de *Maclura tinctoria*: flexão estática (A), dureza Janka (B), compressão paralela (C), compressão perpendicular (D), tração perpendicular (E), cisalhamento (F), e flexão dinâmica (G)




Fonte: Autor.

## 3.4 DURABILIDADE NATURAL

Para avaliação da durabilidade natural da madeira de *Maclura tinctoria* as amostras foram submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório com dois tipos de fungos deterioradores: *Gloeophyllum trabeum* e *Pycnoporus sanguineus*, causadores da podridão parda e branca, respectivamente. Desse modo, os tratamentos consistiram na combinação entre o cerne e alburno da espécie e os dois tipos de fungos apodrecedores, além das amostras de referência (sem fungo) de cerne e alburno (Tabela 5).

Tabela 5 – Tratamentos e número de corpos de provas utilizados no ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório

| **Tratamento** | **Nº de corpos de prova** |
|---|---|
| *Gloeophyllum trabeum* x cerne | 10 |
| *Gloeophyllum trabeum* x alburno | 10 |
| *Pycnoporus sanguineus* x cerne | 10 |
| *Pycnoporus sanguineus* x alburno | 10 |
| Referência x cerne | 10 |
| Referência x alburno | 10 |

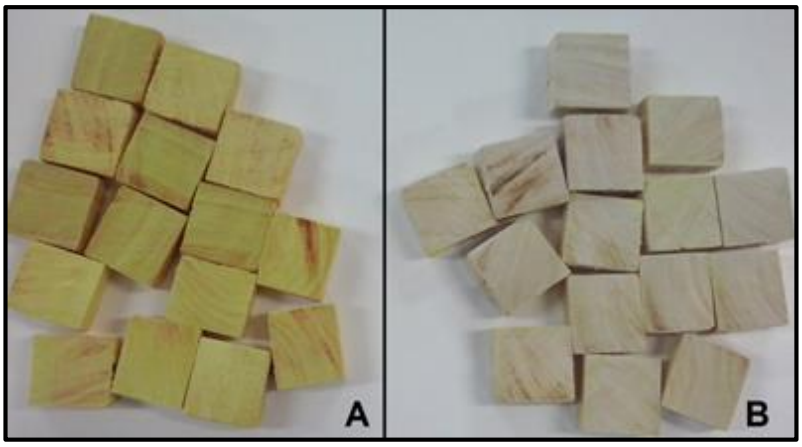
Fonte: Autor.

As amostras de referência têm o objetivo de determinar a perda de massa causada por outros fatores, que não sejam os referentes à degradação pelos fungos, como por exemplo, a manipulação e a variação no teor de umidade das amostras durante o experimento.

A amostragem constou de cinco árvores da espécie, onde se retiraram seis amostras do cerne e seis do alburno de cada árvore, na região próxima ao DAP. O ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ao apodrecimento seguiu a norma D-2017, da ASTM (2005), e realizou-se no laboratório de fitopatologia da Universidade Federal de Santa Maria.

As amostras foram confeccionadas nas dimensões de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm, sendo a última dimensão orientada no sentido das fibras. As mesmas foram obtidas separadamente do cerne e do alburno (Figura 8), a fim de avaliar a resistência individual de ambas.

Figura 8 – Amostras de madeira de *Maclura tinctoria* utilizadas para o ensaio de apodrecimento acelerado: cerne (A) e alburno (B)




Fonte: Autor.

Para a realização do ensaio utilizou-se como substrato um latossolo vermelho, de horizonte B, o qual foi acondicionado em frascos de vidro redondo com tampa rosqueável, com capacidade de 600 ml. Em cada frasco adicionou-se 100 g de solo com pH 6,4, considerado levemente ácido, e 39 ml de água destilada.

A quantidade de água destilada foi determinada em função da capacidade de sua retenção pelo solo, a qual foi de 39%, definida por análise física do solo. Para tanto, o solo foi peneirado em uma peneira com 4,50 mm de abertura. Posteriormente foi calculado o teor de umidade do solo, através do método gravimétrico, utilizando-se para isto quatro amostras do lote de solo coletado. Primeiramente realizou-se a pesagem do solo úmido, e após, colocou-se em estufa a 103 ± 2ºC para secagem. Durante a secagem foram realizadas pesagens deste solo até atingir peso constante.

Com o peso úmido e seco do solo, determinou-se o seu teor de umidade. Esse foi utilizado para o cálculo da quantidade de água a ser adicionada em cada frasco (Equação 8), a fim de atingir 130% de sua capacidade de retenção de água, conforme descrito pela norma D-2017, da ASTM (2005).

$$Qa = [1{,}30 * (A - B) * [D/(100 + B)] \quad (8)$$

Em que: Qa=Quantidade de água a ser adicionada (g); A=Capacidade de retenção de água do solo (%); B=Teor de umidade do solo seco ao ar (%); D=Quantidade de solo seco a ser adicionado em cada frasco (g).

Após o preparo dos frascos com solo e água, cada frasco recebeu uma placa suporte de alburno de *Pinus elliotti* (Figura 9A), nas dimensões de 3,0 x 29,0 x 35,0 mm, com a dimensão maior paralela à grã. A madeira de *Pinus* foi colocada sobre o solo no interior do vidro, servindo de alimento para que os fungos pudessem se desenvolver.

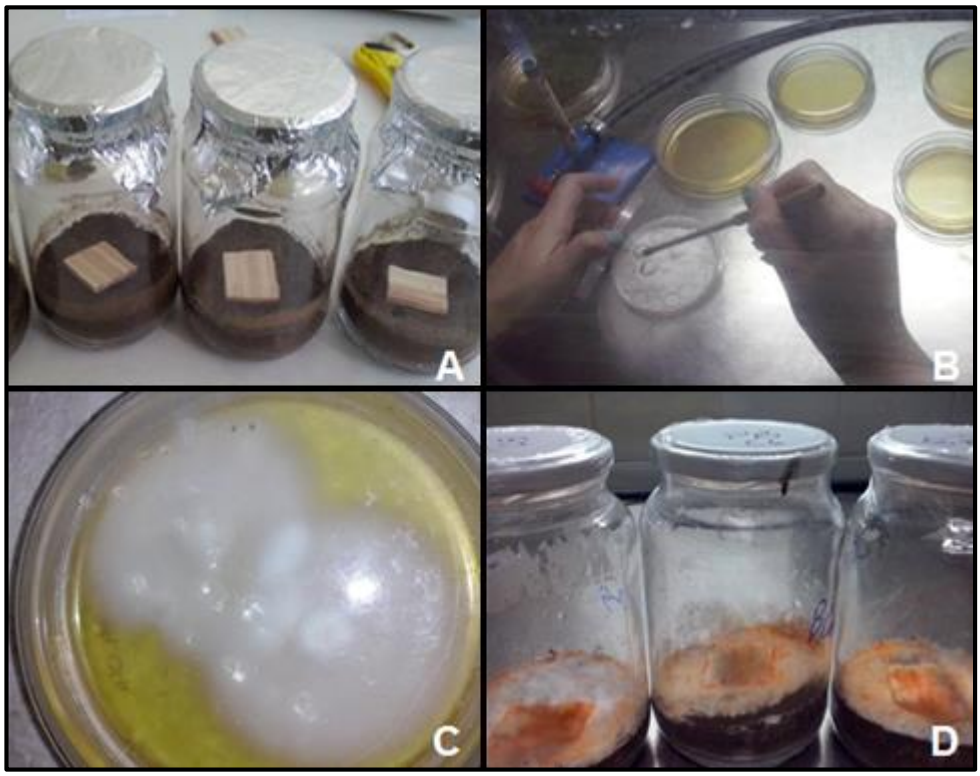
Após a preparação dos frascos de vidro, estes foram autoclavados duas vezes a 120ºC e pressão de uma atmosfera durante 50 minutos sendo, posteriormente, acondicionados em sala climatizada à temperatura de 27 ± 1ºC e umidade relativa de 70 ± 4%, durante 20 dias.

Enquanto os frascos permaneceram em climatização, realizou-se a repicagem dos fungos em meio de cultura líquido contendo extrato de malte (8 g), ágar (20 g) e água destilada (300 ml). Após a preparação, agitou-se o meio de cultura por 5 minutos, para proporcionar uma melhor homogeneidade, e posteriormente autoclavado a 120°C e pressão de uma atmosfera por 50 minutos.

A repicagem dos fungos foi realizada em uma capela de fluxo laminar, em que se obteve inóculos de aproximadamente 1cm², contendo micélio dos fungos, que foram inoculados em placas de Petri contendo o meio de cultura (Figura 9B). A seguir as placas de Petri foram levadas para a sala climatizada à temperatura de 27 ± 1ºC e umidade relativa de 70 ± 4% por um período de 20 dias, para que o micélio do fungo se desenvolvesse completamente dentro da placa de Petri (Figura 9C).

Posteriormente realizou-se a inoculação, em capela de fluxo laminar, dos micélios do fungo nos frascos de vidro contendo a placa suporte de alburno de *Pinus*. Depois de inoculados os frascos foram levados novamente para a sala climatizada, onde permaneceram por um período de 1 mês, para que o micélio do fungo cobrisse homogeneamente a superfície da placa de *Pinus* (Figura 9D).

Figura 9 – Procedimentos para realização do ensaio de resistência natural da madeira de *Maclura tinctoria*: frasco de vidro contendo substrato e placa suporte de *Pinus* (A); repicagem dos fungos para placa de Petri (B); fungo desenvolvido em meio de cultura sólido (C); fungo desenvolvido sobre a placa de *Pinus* (D)

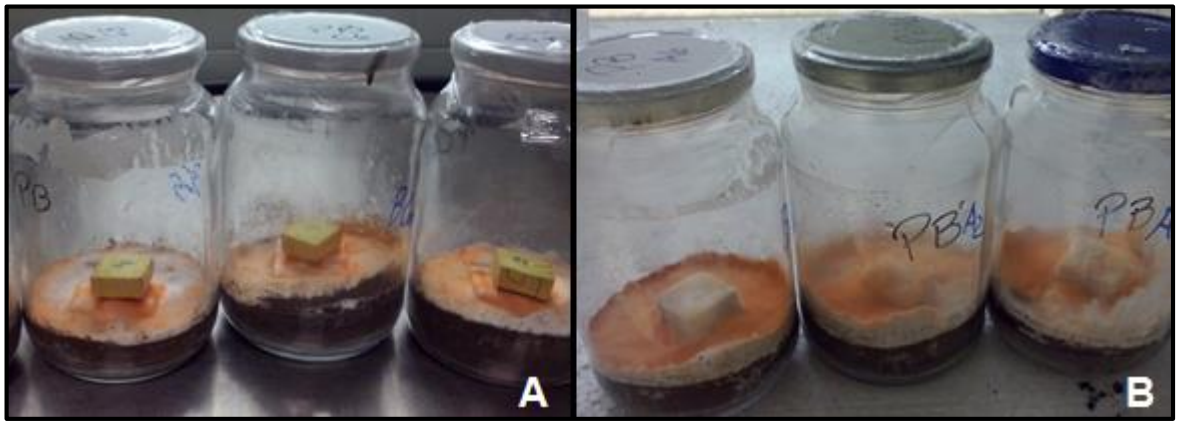



Fonte: Autor.

Antes de colocar as amostras de cerne e alburno da madeira de *Maclura tinctoria* em contato com o fungo, essas foram climatizadas em estufa a 63 ±1ºC, por um período de 72 horas, para obtenção da massa inicial. Possibilitando-se assim, que os resultados ao final do ataque dos fungos sejam obtidos nas mesmas condições. Efetuada a climatização, as amostras foram colocadas em um dessecador contendo sílica, por aproximadamente 15 minutos, sendo, então, pesadas. Antes da inoculação, as amostras foram esterilizadas objetivando eliminar organismos cujas ações não seriam avaliadas no experimento. A esterilização efetuou-se em autoclave a uma temperatura de 120ºC por um período de uma hora.

As amostras de madeiras foram introduzidas assepticamente com o auxílio de uma pinça nos frascos contendo os fungos. Após esta etapa, os frascos retornaram à sala climatizada onde permaneceram por um período de 16 semanas (Figura 10).

Figura 10 – Madeira de *Maclura tinctoria* em ensaio de apodrecimento com o fungo *Pycnoporus sanguineus*: momento em que a madeira foi colocada em contato com o fungo (A) e após quatro meses em contato (B)




Fonte: Autor.

Decorrido o período de ataque dos fungos, as amostras foram retiradas dos frascos de vidro e limpos com o auxílio de um pincel, para remoção dos micélios dos fungos acumulados em sua superfície. Posteriormente, as amostras foram colocadas em estufa a 63 ±1ºC, por um período de 72 horas, sendo pesados, para obter suas massas após o período de exposição ao ataque dos fungos.

Após essa etapa, avaliou-se a perda de massa individual das amostras (pma) de madeira em contato com o fungo e da testemunha (amostra de referência), através dos dados referentes à massa inicial e final das amostras (Equação 9).

$$Pma\ (\%) = \frac{mi - mf}{mi}\ X\ 100 \qquad (9)$$

Em que: pma= perda de massa das amostras (%); mi= massa inicial (g); mf= massa final (g).

A resistência do cerne e alburno foi determinada em termos da média de percentagem de perda de massa (PM), a partir da diferença entre a perda de massa média do tratamento (pmt) pela perda de massa média das amostras de referência (pmaf), por meio da Equação 10.

$$PM\ (\%) = \mathrm{pmt} - \mathrm{pmaf} \qquad (10)$$

Em que: PM: perda de massa (%); pmt: perda de massa média do tratamento (%); pmaf: perda de massa média das amostras de referência (%).

A classificação da resistência natural da madeira de *Maclura tinctoria* foi determinada de acordo com a norma ASTM D 2017 (2005), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação da resistência natural de madeiras submetidas ao ataque de fungos apodrecedores em ensaio acelerado em laboratório, em função da perda de massa (%) dos corpos de prova, de acordo com a norma ASTM D 2017 (2005).

| **Perda de massa (%)** | **Massa Residual (%)** | **Classificação** |
|---|---|---|
| 0-10 | 90 – 100 | Altamente resistente |
| 11-24 | 76 – 89 | Resistente |
| 25-44 | 5 – 75 | Moderadamente resistente |
| >45 | Menos de 56 | Pouco ou não-resistente |

Fonte: Adaptação de ASTM D 2017 (2005).

## 3.5 COLORIMETRIA

Para o estudo colorimétrico do cerne e alburno da madeira *Maclura tinctoria* foram utilizados 30 corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm para cada um desses lenhos, perfazendo um total de 60 amostras, as quais foram retiradas de regiões próximas ao DAP. Em cada amostra avaliada, realizou-se três leituras dos parâmetros colorimétricos por plano da peça (longitudinal tangencial, longitudinal radial e transversal), totalizando 9 medidas por amostra. Enquanto que a avaliação da variação colorimétrica da madeira submetida ao ensaio de laboratório com fungos apodrecedores, foi realizada nos corpos de prova colocados em contato com os fungos, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm, em que, foram realizadas três leituras na seção transversal para cada corpo de prova, sendo utilizado o valor médio dessas medições.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). A avaliação colorimétrica foi realizada com o auxílio de um colorímetro modelo Konica Minolta CR-400 (Figura 11), com abertura do sensor de 8 mm. O aparelho foi calibrado para fonte de luz (iluminante) D65 e 10° de ângulo de observação, conforme descrito pela Commission Internationale de L'éclairage (CIE-L * a * b *).

Figura 11 – Determinação dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Maclura tinctoria:* Colorímetro modelo Konica Minolta CR-400 (A); Leitura dos parâmetros nas amostras (B)

Fonte: Autor.

A partir da leitura realizada pelo aparelho determinou-se os seguintes parâmetros colorimétricos: claridade L* (preto, 0 – branco, 100), coordenada a* (coordenada vermelho (+) – verde (-)), coordenada b* (coordenada amarelo (+) – azul (-)). Enquanto que a análise da variação na cor da madeira antes e após o ataque pelos fungos apodrecedores (ΔE), a saturação de cor (C*) e ângulo de tonalidade (h) foram calculados conforme as Equações 11, 12 e 13, respectivamente.

$$(\Delta E) = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (11)$$

$$C^{*} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (12)$$

$$h = tang^{-1}\left(\frac{b^{*}}{a^{*}}\right) \quad (13)$$

Em que: ΔE = Variação na coloração dos corpos de prova; ΔL*, Δa* e Δb*= variação dos parâmetros de claridade, coordenada cromática vermelho-verde e coordenada cromática amarelo-azul entre os corpos de prova antes e após serem submetidos ao ensaio de apodrecimento; C* = saturação de cor; h = ângulo de tinta; a* = coordenada cromática vermelho (+) – verde (-); b* = coordenada cromática amarelo (+) – azul (-).

Para avaliar a variação total da coloração (ΔE) da madeira submetida ao ataque dos fungos, utilizou-se a Tabela 7, a qual foi elaborada por Stangerlin (2012) que se baseou em níveis de percepção, e faz uma classificação da ΔE de madeiras.

Tabela 7 – Classificação da variação total da cor (ΔE) de madeiras

| **Variação total da cor (ΔE)** | **Classificação colorimétrica** |
|---|---|
| 0,0 – 4,0 | Ligeiramente perceptível |
| 4,1 – 8,0 | Perceptível |
| Acima de 8,1 | Muito perceptível |

Fonte: Adaptação de Stangerlin (2012).

## 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para as análises dos dados, foram realizados testes de correlações entre as variáveis estudadas, análises de variância e análises de regressão, utilizando-se o software estatístico Statgraphics centurion. A seleção dos modelos de regressão foi realizada com base nos seguintes critérios: maiores coeficientes de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e de correlação (R), maior valor de F calculado ($F_{calc.}$), menor erro padrão de estimativa ($S_{yx}$) e análise visual do gráfico de resíduos. Na análise de variância considerou-se um valor de p= 0,05, que se refere ao nível de 95% de confiança.

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

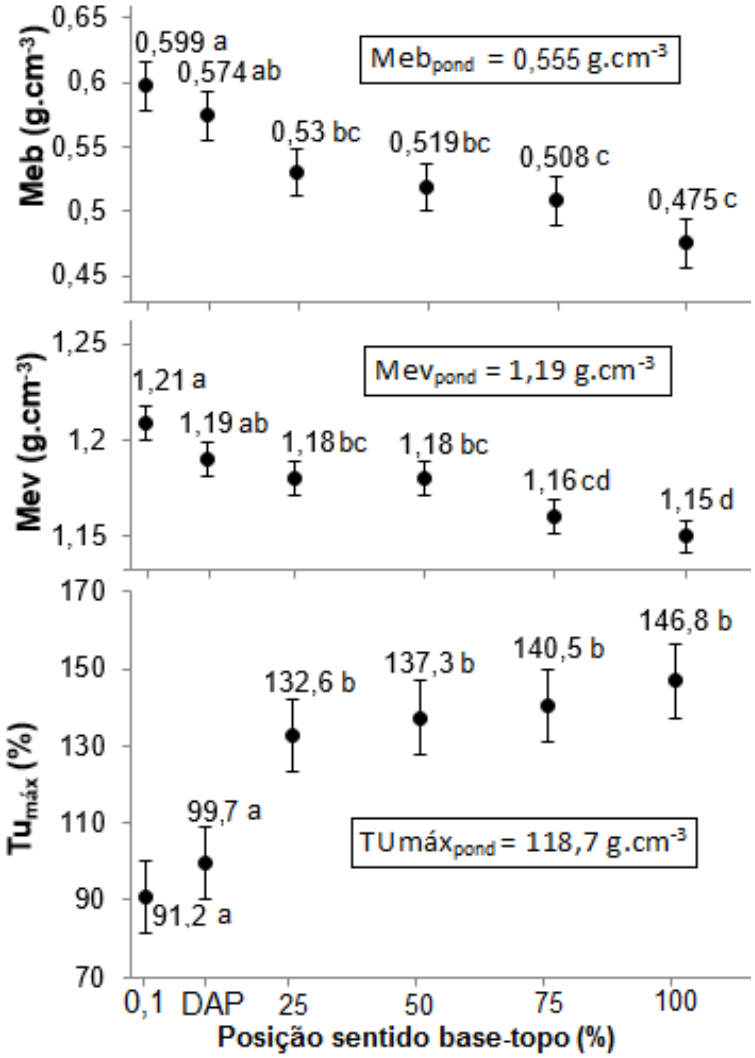
Para a utilização correta e racional da madeira como matéria-prima para os variados fins é importante o conhecimento prévio de suas propriedades, em especial as físicas. Essas propriedades, principalmente a massa específica e o teor de umidade, influenciam diretamente em outras propriedades da madeira, tornando-se um índice para qualificar a madeira.

### 4.1.1 Massa específica e teor de umidade

Os resultados da massa específica básica e verde e o teor de umidade máximo da madeira de *Maclura tinctoria* no sentido longitudinal do tronco mostraram que a posição relativa no sentido base-topo influenciou significativamente nestas três propriedades físicas da madeira, a partir do teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade de erro (Figura 12).

A massa específica básica apresentou decréscimo de seu valor da base (0,599 $g.cm^{-3}$) até o topo da árvore (0,475 $g.cm^{-3}$), o que apresenta uma redução de aproximadamente 21% em seu valor. A literatura apresenta diversos padrões de variação para essa propriedade ao longo do tronco. Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005) observaram a tendência de diminuição com o aumento da altura para *Eucalyptus paniculata*, aos dezesseis anos de idade.

Figura 12 – Valores médios das massas específicas básica (Meb) e verde (Mev) e teor de umidade máximo ($TU_{máx}$) para a madeira de *Maclura tinctoria* em função da posição longitudinal do tronco




Fonte: Autor.
Em que: Médias seguidas pelas mesmas letras, para a mesma propriedade física, não possuem diferença estatisticamente significativa a 5% de erro, com base no teste LSD de Fisher.

Em estudo com espécies de *Eucalyptus grandis*, aos sete anos de idade, Shimoyama e Barrichello (1991) encontraram esse mesmo padrão de variação no sentido longitudinal do tronco. Já para *Eucalyptus urophylla*, verificaram uma tendência contrária, onde houve aumento dessa propriedade até o topo da árvore. Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005) encontraram um modelo de variação da Meb para a madeira de *Eucalyptus grandis* em que ocorreu um decréscimo até 50% da altura comercial seguido pelo aumento até o topo. Já para ao híbrido *Eucalyptus*

*grandis* x *urophylla* encontraram a elevação da Meb no sentido longitudinal do tronco.

Para espécies nativas, Trautenmüller et al. (2014) encontraram para a madeira de *Cordia americana* a tendência de diminuição da Meb no sentido base-topo, enquanto que para a espécie *Alchornea triplinervia* o comportamento dessa propriedade foi homogêneo ao longo do tronco. Para a madeira de *Araucaria angustifolia*, Mattos et al. (2011) descreveram uma diminuição da Meb no sentido longitudinal das árvores. Esse mesmo padrão de comportamento foi descrito por Valério et al. (2008) para a madeira de Peroba (*Aspidosperma polineuron*).

Os valores médios de massa específica básica ao longo do tronco para a madeira de Tajuva foram ponderados em função do volume comercial sem casca das árvores, para a determinação da massa específica básica ponderada ($Meb_{pond}$), onde se encontrou um valor médio de 0,555 $g.cm^{-3}$, e valor máximo e mínimo, 0,678 e 0,469 $g.cm^{-3}$, respectivamente.

Em estudo com diversas madeiras amazônicas, IBAMA (1997) encontrou para a madeira de Tajuva uma Meb no valor de 0,73 $g.cm^{-3}$. Essa diferença pode ser atribuída a idade das árvores selecionadas, sítio em que foram retiradas, entre outros fatores intrínsecos a madeira. Para a madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*, Trautenmüller et al. (2014) encontraram, respectivamente, uma $Meb_{pond}$ no valor de 0,629 e 0,335 $g.cm^{-3}$.

A determinação da $Meb_{pond}$ é importante pelo fato de ocorrer variação de densidade no sentido base-topo das árvores, além da diferente representatividade que cada posição de retirada das amostras tem sobre o volume total de madeira da árvore.

Os coeficientes de variação da densidade básica por posição de retirada das amostras no tronco foram próximos ao proposto por Glass e Zelinka (2010), que consideram um coeficiente de variação de aproximadamente 10% como adequado para descrever a massa específica de espécies nativas. Dessa maneira, evidencia-se a baixa variabilidade da massa específica básica para a mesma altura relativa no tronco entre as cinco árvores amostradas.

A massa específica verde (Mev), assim como a Meb, apresentou tendência de redução com o aumento da altura no tronco, com um valor médio ponderado de de 1,19 $g.cm^{-3}$, e uma amplitude de variação de apenas 0,04 $g.cm^{-3}$. Esse valor de Mev corrobora com o encontrado por Little Junior e Dixon (1983) para madeiras de

Tajuva proveniente do Equador, as quais apresentaram uma Mev de 1,15 g.cm$^{-3}$, e também semelhantes ao descrito pelo IBAMA (1997), que relataram para a espécie uma massa específica verde de 1,22 g.cm$^{-3}$.

O teor de umidade máximo ($TU_{máx}$) apresentou tendência inversa ao das massas específicas, ou seja, apresentou aumento da base (91,2%) para o topo (146,8%) da árvore, e um $TU_{máx}$ ponderado entre as seis posições ao longo do tronco no valor de 118,7%. As correlações existentes entre as propriedades físicas e altura comercial da madeira de *Maclura tinctoria* podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson entre a massa específica verde (Mev), massa específica básica (Meb), teor de umidade máximo ($Tu_{máx}$) e altura comercial (HC) da madeira de *Maclura tinctoria*

| Variáveis | Meb | $Tu_{máx}$ | HC |
|---|---|---|---|
| **Mev** | 0,95* | -0,96* | -0,60* |
| **Meb** | | -0,99* | -0,61* |
| **$TU_{máx}$** | | | 0,65* |

Fonte: Autor.
Em que: * = correlação de Pearson significativa a 5% de probabilidade.

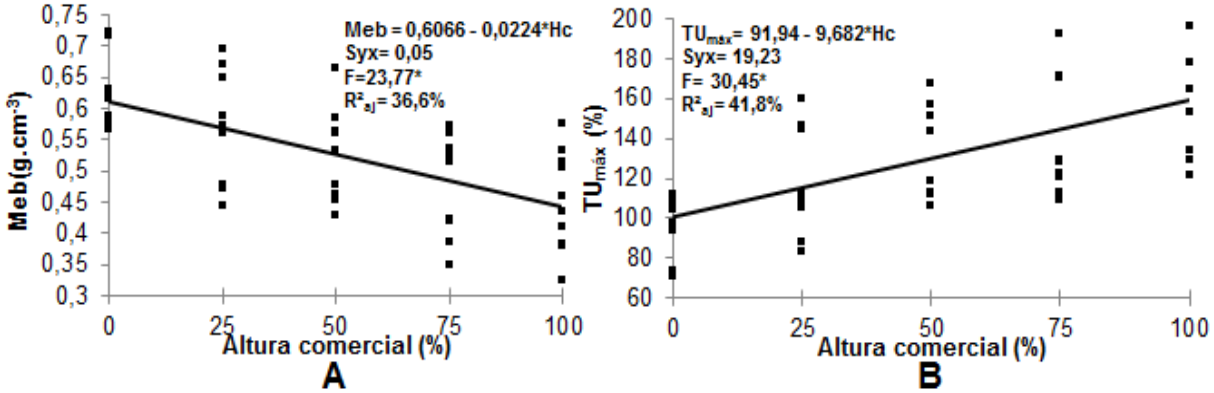
Observa-se na tabela acima a correlação altamente significativa e negativa entre as massas específicas e o teor de umidade, ou seja, com o aumento das massas específicas ocorre diminuição do $TU_{máx}$. Isso ocorre devido ao fato de madeiras com elevadas densidades possuírem menores volumes de espaços vazios internos e, por consequência, pouco espaço para preenchimento com água, diminuindo-se assim o teor de umidade máximo que a madeira pode adquirir (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005).

Silveira, Rezende e Vale (2013) encontraram para *Brosimum parinarioides*, espécie da mesma família da Tajuva, um teor de umidade máximo de 105,0%, a qual apresentava uma Meb de 0,588 g.cm$^{-3}$. E para outra espécie da família, *Brosimum rubescens*, que apresentava uma densidade mais elevada (0,835 g.cm$^{-3}$), um $TU_{máx}$ de 54,73%. Diante disso, pode-se afirmar que a massa específica e o teor de umidade são inversamente proporcionais.

Em relação à altura comercial da árvore, com o seu aumento ocorreu a diminuição das massas específicas e aumento do teor de umidade máximo da madeira. Na Figura 13 encontram-se os modelos de regressão lineares ajustados

para a determinação da massa específica básica e teor de umidade máximo em função da altura comercial da árvore.

Figura 13 – Equação de regressão gerada para a predição da massa específica básica (A) e teor de umidade máximo (B) em função da altura comercial da árvore




Fonte: Autor.

Ambas as equações de regressão foram significativas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro. Sendo que o melhor ajuste do modelo foi observado para a estimativa do $TU_{máx}$ em função da altura comercial da árvore, o qual apresentou um valor $F_{calc}$= 30,45 e $R^2$ = 0,43, em que esse modelo explica em 41,8% a variabilidade dos valores do $TU_{máx}$.

### 4.1.2 Contração

Os valores médios de contração e fator anisotrópico para a madeira de *Maclura tinctoria* (Tabela 9) demonstram a sua boa estabilidade dimensional quando ocorre a variação em seu teor de umidade. A variabilidade dos coeficientes de variação (CV%) pode ser considerada satisfatória, à exceção da contração longitudinal que apresentou valor de 22,85%. Glass e Zelinka (2010) afirmam que o coeficiente de variação adequado para a retratibilidade da madeira fica em torno de 15%.

Tabela 9 – Valores médios da contração e fator anisotrópico da madeira de *Maclura tinctoria*

| | CONTRAÇÃO (%) | | | | Fator |
|---|---|---|---|---|---|
| **Estatística** | **Tangencial** | **Radial** | **Longitudinal** | **Volumétrica** | **Anisotrópico** |
| Média | 4,67 | 2,58 | 0,39 | 7,04 | 1,74 |
| DP | 0,6 | 0,4 | 0,08 | 0,83 | 0,18 |
| CV | 12,97 | 15,75 | 22,85 | 11,77 | 10,39 |
| Máximo | 5,6 | 3,4 | 0,56 | 8,77 | 2,1 |
| Mínimo | 3,7 | 2,01 | 0,24 | 5,82 | 1,48 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão (%) e CV=coeficiente de variação (%).

Os valores médios das contrações lineares e volumétrica encontrados para a madeira de Tajuva estão semelhantes aos descritos por Mainieri e Chimelo (1989), que encontraram para a contração tangencial, radial e volumétrica valores de 4,3, 2,3, e 7,2%, respectivamente. Esses autores ainda descrevem que a madeira da espécie apresenta uma baixa instabilidade dimensional. Resultados similares foram apresentados por Pedroso e Mattos (1987), em que para essas três contrações encontraram, respectivamente, 4,6, 2,4 e 7,4%. Estudando a mesma espécie IBAMA (1997) encontrou para a contração tangencial, radial e volumétrica, respectivamente, 5,9, 3,2 e 9,4%.

Quanto à estabilidade dimensional, a contração tangencial foi superior à contração radial, apresentando um fator anisotrópico médio de 1,74. IBAMA (1997) encontrou para a madeira de Tajuva um valor próximo para a relação da contração tangencial/radial, em torno 1,8. Tais resultados estão de acordo com diversos autores, como (KRETSCHMANN, 2010; OLIVEIRA et al., 2010), nos quais afirmam que para as madeiras em geral, a contração no sentido tangencial é superior ao sentido radial.

Conforme Oliveira e Silva (2003) esse valor varia de 1,5 para madeiras de boa estabilidade a 2,5 para madeiras muito instáveis dimensionalmente. Portanto, a madeira de Tajuva do presente estudo apresenta uma boa estabilidade, e assim, pode ser indicada para usos que envolvem estabilidade dimensional da madeira, como por exemplo, em ambientes externos, onde ocorre uma grande variação do teor de umidade de equilíbrio.

A diferença entre as contrações tangenciais e radiais pode ser atribuída à disposição dos elementos anatômicos na madeira, em especial aos raios, que estão

dispostos horizontalmente ao sentido axial, fazendo com que ocorra uma menor contração no sentido radial devido à restrição imposta pelos mesmos.

A relação entre as massas específicas, contrações lineares, volumétricas e coeficiente de anisotropia estão apresentados na Tabela 10, através do coeficiente de correlação de Pearson.

Tabela 10 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as massas específicas, contrações e coeficiente de anisotropia da madeira de *Maclura tinctoria*

| Variáveis | Mev | Meb | βv | βt | βr | βl | CA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mea** | 0,87* | 0,99* | -0,52* | -0,59* | -0,55* | -0,30* | -0,40* |
| **Mev** | | 0,85* | -0,33* | -0,42* | -0,37* | -0,09$^{NS}$ | -0,36* |
| **Meb** | | | -0,55* | -0,62* | -0,57* | -0,29* | -0,41* |
| **βv** | | | | 0,86* | 0,84* | 0,27$^{NS}$ | 0,07$^{NS}$ |
| **βt** | | | | | 0,69* | 0,28$^{NS}$ | 0,14$^{NS}$ |
| **βr** | | | | | | 0,28$^{NS}$ | -0,21$^{NS}$ |
| **βl** | | | | | | | 0,18$^{NS}$ |

Fonte: Autor.
Em que: Mea = massa específica aparente ao teor de umidade de 12%; Mev = massa específica verde; Meb = massa específica básica; βv, βt, βr, βl = contração volumétrica, tangencial, radial e longitudinal, respectivamente; CA = coeficiente de anisotropia; * e NS correlação significativa e não significativa pelo teste de Pearson ($p < 0,05$).

Verifica-se na tabela que para todas as contrações a massa específica aparente (Mea) apresentou correlação significativa e negativa. Com o aumento da massa específica da madeira ocorreu uma diminuição em sua contração, ou seja, a elevada massa específica aumenta a estabilidade dimensional da madeira. Na maioria das madeiras, ocorre o contrário, sendo que madeiras mais densas tendem a apresentarem maiores contrações (KOLLMANN; COTÊ, 1968). Este fato ocorre devido a madeiras com maior massa específica apresentarem uma quantidade maior de compostos que formam a parede celular, e, portanto, mais água de adesão (BOWYER et al., 2003).

No entanto, alguns fatores podem interferir nesta relação, como por exemplo, a presença de extrativos na madeira. Esses tendem a diminuir o ponto de saturação das fibras, sendo assim, mesmo as madeiras apresentando alta massa específica devido à presença de extrativos, a contração será menor (SANTOS, 2008).

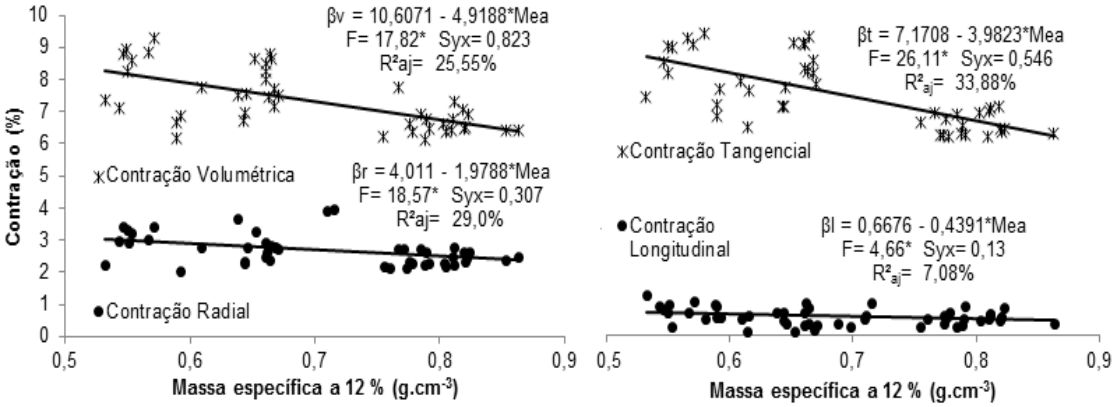
Lamounier (2010) em estudo sobre extrativos na espécie *Maclura tinctoria,* encontrou uma alta concentração desses componentes em sua madeira, em torno de 11%. Esse elevado teor de extrativos na madeira de Tajuva pode justificar a sua

baixa variação dimensional. Nearn (1995) menciona que os extrativos ocupam parte do espaço da parede celular que normalmente seria ocupado por água, o que faz com que espécies com alto teor de extrativos apresentem maior estabilidade dimensional em relação as que possuem menores quantidades em sua estrutura anatômica.

Em estudo sobre a retratibilidade da madeira de espécies de *Eucalyptus*, Oliveira; Tomazello Filho e Fiedler (2010) encontraram para madeiras de elevada massa específica, como por exemplo, *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia citriodora*, os quais apresentam alta quantidade de extrativos, valores de retratibilidade menores do que madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pilularis*, as quais apresentavam baixas massas específicas.

Na Figura 14 encontram-se os modelos de regressão lineares ajustados para a determinação das contrações lineares e volumétrica em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*.

Figura 14 – Valores observados e equação de regressão gerada para a predição das contrações lineares e volumétrica em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*




Fonte: Autor.

Apesar de todas as equações de regressão geradas apresentarem-se significativas pelo teste de F, ocorreu baixa correlação entre a massa específica e as contrações, conforme já apresentado na Tabela 10. Os melhores ajustes das equações de regressão foram observados na estimativa da contração tangencial, com valor de $F_{calc}$ = 26,11 e $R^2_{aj.}$ = 33,88%. Enquanto que a contração longitudinal, apesar de apresentar uma correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade

de erro (p=0,036), apresentou um $F_{calc}$ = 4,66 e $R^2_{aj.}$ = 7,08%, ou seja, apenas 7,08% do modelo explica a variabilidade da contração longitudinal.

## 4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas da madeira expressam o seu comportamento quando submetidas à aplicação de uma carga, ou seja, quantificam o quanto a madeira pode suportar de esforço quando sujeita à forças externas. Os resultados descritos com essas avaliações são importantes para a melhor adaptação de uso de cada espécie, garantindo segurança e economia na utilização de seus produtos.

### 4.2.1 Flexão estática

Os valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para o ensaio de flexão estática, e massa específica aparente a 12% (Mea) para a madeira de *Maclura tinctoria* estão apresentados na Tabela 11. Os valores dos coeficientes de variação encontrados para o módulo de ruptura (17,0%) e módulo de elasticidade (13,3%) para o ensaio de flexão estática podem ser considerados satisfatórios. Kretschmann (2010) em estudo das propriedades mecânicas de cinquenta espécies florestais salienta que para essas duas variáveis, o valor do coeficiente de variação adequado fica em torno de 16 e 22%, respectivamente.

Tabela 11 – Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para o ensaio de flexão estática, e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*

| Estatística | MOE ($Kgf.cm^{-2}$) | MOR ($Kgf.cm^{-2}$) | Mea ($g.cm^{-3}$) |
|---|---|---|---|
| Média | 103793,0 | 1226,0 | 0,70 |
| DP | 13789,0 | 191,5 | 0,09 |
| CV(%) | 13,3 | 17,00 | 12,74 |
| Máximo | 130106,0 | 1424,3 | 0,8282 |
| Mínimo | 79180,0 | 784,4 | 0,5582 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão; CV= coeficiente de variação.

Os valores encontrados para o módulo de elasticidade foram inferiores aos descritos por Pedroso e Mattos (1987) e IBAMA (1997), para madeira seca (TU=12%), que encontraram 132400 $Kgf.cm^{-2}$ e 129000 $Kgf.cm^{-2}$, respectivamente. Assim como para o módulo de ruptura, em que IBAMA (1997) e Mainieri e Chimelo (1989), encontraram 1565 $Kgf.cm^{-2}$ e 1523 $Kgf.cm^{-2}$, respectivamente, sendo que estes últimos a classificaram como madeira de alta resistência à ruptura. Stangerlin et al. (2010) encontraram para a madeira de *Carya illinoinensis* (nogueira-pecã), com massa específica aparente de 0,80 $g.cm^{-3}$, um MOE semelhante ao do presente estudo, 103006 $Kgf.cm^{-2}$, enquanto que para o MOR um valor inferior, 846 $Kgf.cm^{-2}$.

Essa diferença em relação aos demais estudos pode ser atribuída a fatores não controlados, como idade das árvores, e por consequência, percentagens de lenho adulto/juvenil e densidade, material genético, procedência, entre outros fatores.

Em relação à Mea, Carvalho (1996) apresenta uma classificação para a madeira, dividida em quatro classes: madeiras leves (Mea entre 0,4 a 0,49 $g.cm^{-3}$); madeiras moderadamente pesadas (Mea entre 0,5 a 0,59 $g.cm^{-3}$); madeiras pesadas (0,60 a 0,70 $g.cm^{-3}$) e madeiras muito pesadas (acima de 0,70 $g.cm^{-3}$). Portanto, para esta classificação a madeira de Tajuva (0,70 $g.cm^{-3}$) classifica-se como uma madeira pesada. Essa mesma classificação é dada por Mainieri e Chimelo (1989), porém para uma Mea de 0,88 $g.cm^{-3}$ para a madeira de Tajuva.

O módulo de elasticidade e o módulo de ruptura apresentaram alta correlação com a Mea, pelo teste de correlação de Pearson ao nível de 95% de significância, conforme apresentado na Tabela 12. Conforme Lobão et al. (2004) o MOE e MOR estão correlacionados com a massa específica das espécies.

Tabela 12– Coeficiente de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*

| Variáveis | MOE | MOR |
|---|---|---|
| **Mea** | 0,83* | 0,81* |
| **MOE** | | 0,71* |

Fonte: Autor.
Em que: * = correlação significativa pelo teste de Pearson ($p < 0,05$).

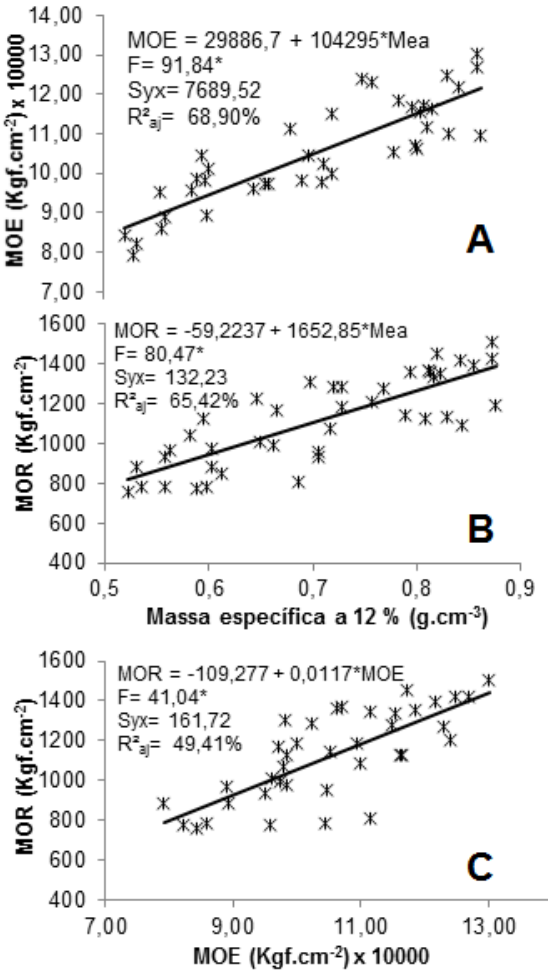
Observa-se também que o MOR e o MOE apresentaram alta correlação (r=0,71). Resultado semelhante foi encontrado por Melo et al. (2010) em estudo sobre a caracterização mecânica da madeira de *Araucária angustifólia*, onde a correlação entre essas duas variáveis foi significativa e positiva (r=0,70). Esses autores ainda comentam que a forte relação entre essas duas variáveis é uma importante ferramenta para a classificação da madeira através de ensaios mecânicos não destrutivos, e assim, sem a necessidade de rompimento da peça.

Esse ensaio sem a ruptura da madeira é automatizado, onde por meio da flexão da peça, com aplicação de uma carga inferior ao limite proporcional, determina-se o MOE, e a partir desse, estima-se o MOR, o qual em ensaios tradicionais só seria obtido através da ruptura do material.

Pôde-se fazer uma estimativa do módulo de elasticidade e ruptura através da Mea, pois a correlação entre essas variáveis foi significativa e positiva. Segundo a norma ASTM 2555 (2005) sugere um coeficiente de correlação igual ou superior a 0,5 para estimativas confiáveis. Portanto, a Mea seria uma variável confiável para estimar o MOE e MOR. Assim como o módulo de elasticidade para determinar os valores do módulo de ruptura.

As equações lineares ajustadas para a estimativa do MOE e do MOR em função da Mea e do MOR em função do MOE estão apresentadas na Figura 15.

Figura 15 – Valores observados e equação de regressão gerada para a predição do módulo de elasticidade (A) e módulo de ruptura (B) da flexão estática em função da massa específica aparente a 12% e do MOR em função do MOE (C)




Fonte: Autor.

As equações de regressão foram significativas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro. Sendo que o modelo para estimativa do MOE em função da Mea (Figura 15A) apresentou o melhor ajuste, com um $F_{calc}$= 91,84 e $R_{aj}^2$= 0,689, isto é, o modelo linear explica 68,90% da variabilidade do MOE, enquanto que para estimativa do MOR (Figura 15B), um valor de $F_{calc}$= 80,47 e $R_{aj.}$ = 0,65, e para determinação do MOR a partir do MOE (Figura 15C), um $F_{calc}$= 41,04 e $R_{aj.}$ = 0,49.

Esses modelos apresentaram ajustes superiores aos descritos por Melo et al. (2010) para o MOE e MOR em função da massa específica da madeira de *Araucaria angustifolia*, os quais apresentaram respectivamente, um $R^2$ de 0,21 e 0,56. E ajustes semelhantes para a predição do MOR em função do MOE, onde esses autores encontraram um $R^2$ no valor de 0,49.

### 4.2.2 Cisalhamento

Os valores médios para a resistência ao cisalhamento ($\mu_{cis}$), carga máxima ($\alpha_{máx}$) e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria* estão apresentados na Tabela 13. O coeficiente de variação foi superior ao considerado adequado por Kretschmann (2010), que é em torno de 14%. Essa maior variação dos dados pode ser justificada pela variabilidade entre as cinco árvores amostradas, principalmente em relação à percentagem de lenho adulto e juvenil presente em cada amostra testada.

Tabela 13 – Valores médios da resistência ao cisalhamento (µcis), carga máxima (αmáx) e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*

| Estatística | $\mu_{cis}$ (Kgf.cm$^{-2}$) | $\alpha_{máx}$ (Kgf) | Mea (g.cm$^{-3}$) |
|---|---|---|---|
| Média | 135,2 | 3513,2 | 0,72 |
| DP | 26,0 | 661,6 | 0,07 |
| CV(%) | 19,2 | 18,8 | 9,95 |
| Máximo | 186,5 | 4830,0 | 0,882 |
| Mínimo | 86,5 | 2276,0 | 0,619 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

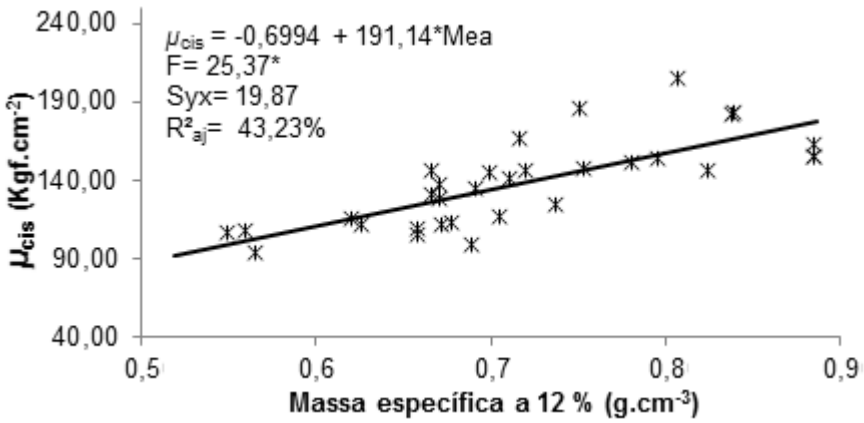
Os valores encontrados para a resistência ao cisalhamento no presente estudo foram menores que os apresentados por Pedroso e Mattos (1987) e IBAMA (1997), respectivamente, 158 Kgf.cm$^{-2}$ e 159 Kgf.cm$^{-2}$. Teixeira et al. (2011) encontraram para a madeira de *Anadenanthera peregrina* (Angico-vermelho), com massa específica básica de 0,56 g.cm$^{-3}$, a qual é semelhante a Tajuva, uma resistência ao cisalhamento de 141 Kgf.cm$^{-2}$. Melo et al. (2010) observaram para o lenho adulto de *Araucaria angustifolia* uma resistência ao cisalhamento de 63,9 Kgf.cm$^{-2}$, em uma madeira com massa específica aparente de 0,48 g.cm$^{-3}$.

Diante desses resultados, pôde-se afirmar que, dentre outros fatores, a resistência ao cisalhamento da madeira apresenta alta correlação com sua massa específica. Sendo assim, para a mesma espécie, porém com massas específicas diferentes, haverá uma variação da resistência ao cisalhamento. Esta situação pode explicar a variabilidade de resultados para o cisalhamento da madeira de Tajuva entre o presente estudo e os encontrados na literatura.

Pela resistência ao cisalhamento encontrada para a madeira de Tajuva no presente estudo e nos demais estudos, assim como o descritos para as demais espécies, pode-se afirmar que a mesma apresenta boa resistência mecânica quando estiver sujeita a esses tipos de esforços, e assim, podendo ser uma espécie a ser indicada a utilizações que requerem esse tipo de resistência.

A resistência ao cisalhamento da madeira de Tajuva apresentou uma correlação significativa com a sua massa específica, apresentando um coeficiente de correlação de 0,67. A partir disso, foi possível um ajuste de equação de regressão para a estimativa da resistência ao cisalhamento em função da massa específica aparente (Figura 16).

Figura 16 – Valores observados e equação de regressão gerada para a predição da resistência ao cisalhamento em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria.*




Fonte: Autor.

Observa-se que o modelo de regressão linear ajustado explica 43,23% da variabilidade da resistência ao cisalhamento da madeira de *Maclura tinctoria*.

### 4.2.3 Dureza Janka

Os valores médios de dureza Janka nos três sentidos anatômicos e massa específica aparente (Mea) a 12% para a madeira de Tajuva estão apresentados na Tabela 14. O coeficiente de variação (CV) para os dados referentes à dureza nos sentidos transversais pode ser considerado elevado e para o sentido longitudinal satisfatório, pois Kretschmann (2010) considera como adequado um CV de 20%

para a propriedade da dureza. Essa variação elevada nos resultados da resistência à dureza pode ser explicada pela amplitude de variação da massa específica aparente, que variou de 0,594 a 0,845 g.cm$^{-3}$, verificando que essa propriedade física apresenta relação direta com a resistência mecânica da madeira.

Tabela 14 – Valores médios da dureza tangencial, radial e axial e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*

| **Estatística** | **$D_{tang}$(Kgf)** | **$D_{rad}$ (Kgf)** | **$D_{long}$ (Kgf)** | **Mea (g.cm$^{-3}$)** |
|---|---|---|---|---|
| Média | 670,7 | 601,4 | 818,9 | 0,71 |
| DP | 165,8 | 138,6 | 124,8 | 0,08 |
| CV(%) | 24,7 | 23,04 | 15,23 | 11,94 |
| Máximo | 958,5 | 823,5 | 1072,0 | 0,845 |
| Mínimo | 455,5 | 385,0 | 364,0 | 0,594 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão; CV=coeficiente de variação. $D_{tang}$, $D_{rad}$, $D_{long}$ = dureza no sentido tangencial, radial e longitudinal, respectivamente.

Observa-se na tabela acima que a resistência à dureza da madeira de Tajuva foi maior no sentido longitudinal, e os sentidos tangencial e radial apresentaram resistência semelhantes. Teixeira et al. (2011) não encontraram diferenças estatísticas significativas para a dureza Janka entre esses três planos, ao estudar essa propriedade em madeira de *Anadenanthera peregrina* (Angico-vermelho).

Para a madeira de Tajuva com Mea de 0,84 g.cm$^{-3}$, Pedroso e Mattos (1987) encontraram uma resistência à dureza no valor de 1008 Kgf. Para a madeira de *Bagassa guianensis* (Tatajuba), pertencente à família Moraceae e com características tecnológicas semelhantes a Tajuva, Lahr et al. (2010) encontraram para uma madeira com Mea de 0,95 g.cm$^{-3}$, um valor médio de 1233,8 Kgf e 958,5 Kgf, respectivamente para a dureza axial e perpendicular.

Melo et al. (2010) descreveram para a madeira do lenho adulto de *Araucaria angustifolia* e com Mea de 0,48 g.cm$^{-3}$, uma resistência máxima à dureza de 337,9 Kgf. Enquanto Santini, Haselein e Gatto (2000) encontraram para essa mesma espécie, uma resistência à dureza no sentido radial, tangencial e axial valores de 236 Kgf, 252 Kgf e 370 Kgf, respectivamente, para uma Mea de 0,4 g.cm$^{-3}$, não encontrando diferenças estatísticas significativas para essa propriedade nos diferentes planos.

A partir dos resultados encontrados para a resistência à dureza da madeira de Tajuva neste e nos demais estudos, assim como para outras espécies, pôde-se afirmar que a espécie apresenta alta resistência à penetração quando submetida a impactos mecânicos, podendo ser indicada a situações de usos sujeitas a esses esforços, como por exemplo em assoalhos e parquetes.

A resistência máxima à dureza Janka apresentou correlação altamente significativa dos três planos anatômicos com a Mea (Tabela 15). Em que quanto maior a Mea da madeira, maior será sua resistência mecânica. Correlação semelhante foi observada por Melo et al. (2013), onde encontraram um coeficiente de correlação entre a dureza Janka e a Mea no valor de 0,91.

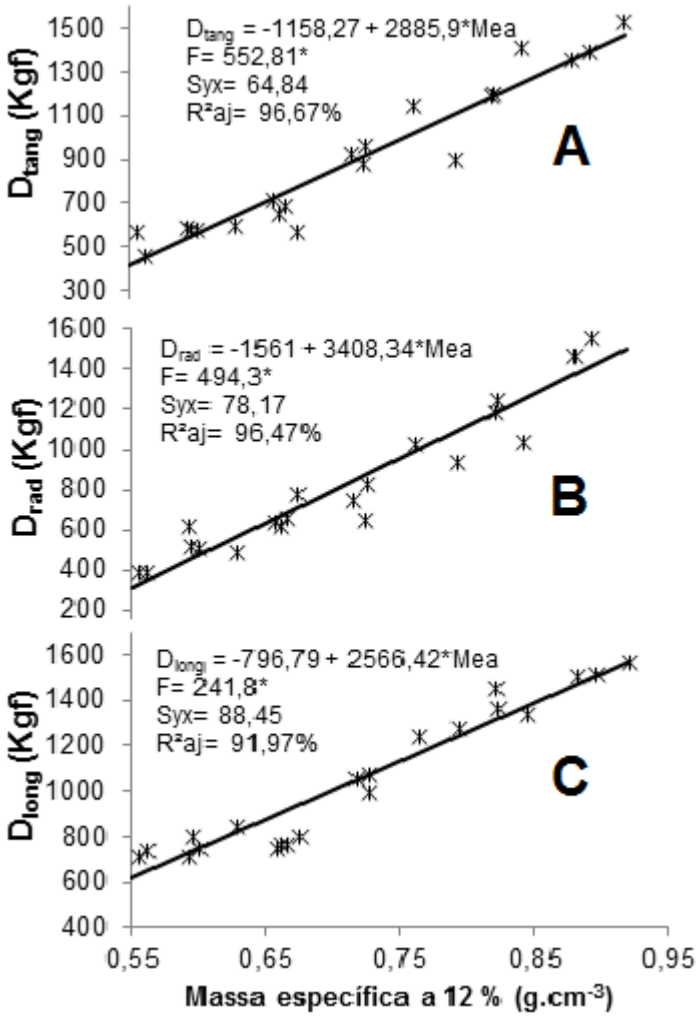
Tabela 15 – Coeficiente de correlação de Pearson entre a dureza Janka nos sentidos tangencial, radial e longitudinal e a massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*

| **Variáveis** | **$D_{tang}$** | **$D_{rad}$** | **$D_{long}$** |
|---|---|---|---|
| **Mea** | 0,98* | 0,98* | 0,96* |
| **$D_{tang}$** | | 0,98* | 0,97* |
| **$D_{rad}$** | | | 0,95* |

Fonte: Autor.
Em que: * = correlação significativa pelo teste de Pearson ($p < 0,05$).

Correlação semelhante foi observada por Melo et al. (2013), onde encontraram um coeficiente de correlação entre a dureza Janka e a Mea no valor de 0,91. A partir da alta correlação entre essas duas propriedades foi possível a elaboração de modelos de regressão linear ajustadas para a estimativa da dureza Janka nos três planos anatômicos em função da massa específica aparente (Figura 17).

Figura 17 – Equação de regressão gerada para a predição da dureza Janka tangencial (A), radial (B) e longitudinal (C) em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*




Fonte: Autor.

Os três modelos foram altamente significativos pelo teste F, onde 96,67%, 96,47% e 91,97% desses explicam a variabilidade da resistência à dureza tangencial (Figura 17A), radial (Figura 17B) e longitudinal (Figura 17C), respectivamente, da madeira de *Maclura tinctoria.*

### 4.2.4 Tração perpendicular

Os valores médios da resistência à tração perpendicular ($T_{\perp}$), carga máxima ($\alpha_{máx}$) e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria* estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores médios da resistência à tração perpendicular ($T^{\perp}$), carga máxima ($\alpha_{máx}$) e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*

| Estatística | $T^{\perp}$ (Kgf.cm$^{-2}$) | $\alpha_{máx}$ (Kgf) | Mea (g.cm$^{-3}$) |
|---|---|---|---|
| Média | 51,41 | 670,1 | 0,73 |
| DP | 14,45 | 187,74 | 0,09 |
| CV(%) | 28,11 | 28,01 | 12,8 |
| Máximo | 78,01 | 975,0 | 0,872 |
| Mínimo | 26,83 | 335,0 | 0,577 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

Resultados semelhantes foram descritos pelo IBAMA (1997), onde se encontrou para a madeira da Tajuva uma $T^{\perp}$ no valor de 54 Kgf.cm$^{-2}$. Enquanto Pedroso e Mattos (1987) encontraram uma resistência de 110 Kgf.cm$^{-2}$ à tração, porém com uma Mea de 0,84 g.cm$^{-3}$. Para a madeira de Guariúba (*Clarisia racemosa*), pertencente à família Moraceae e com características tecnológicas semelhantes a Tajuva, IBAMA (1997) e Pedroso e Mattos (1987) encontraram uma $T^{\perp}$ no valor de 42 e 59 Kgf.cm$^{-2}$, respectivamente.

Para as madeiras de Tatajuba (*Bagassa guianensis*) e Muirapiranga (*Brosimum rubescens*), as quais pertencem à família Moraceae, e que da mesma forma, apresentam boas qualidades tecnológicas em suas madeiras, Pedroso e Mattos (1987) descreveram uma $T^{\perp}$ de 46 e 75 Kgf.cm$^{-2}$, respectivamente, em que as classificaram como madeiras de resistência baixa e média à tração, respectivamente.

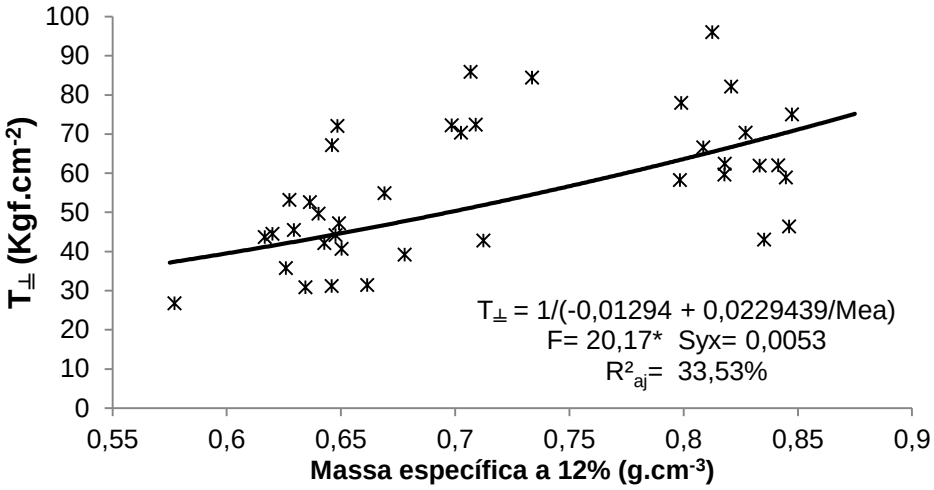
Para a madeira de *Araucaria angustifolia* com uma massa específica aparente menor que a da Tajuva, 0,48 g.cm$^{-3}$, Melo et al. (2010) descreveram uma $T^{\perp}$ para essa madeira no valor de 36,9 Kgf.cm$^{-2}$. Para essa mesma espécie, Santini, Haselein e Gatto (2000), encontraram um valor de 18 Kgf.cm$^{-2}$ para uma madeira com Mea de 0,4 g.cm$^{-3}$, e para as espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, com massas específicas semelhantes a da *Araucaria*, um valor médio de 18 Kgf.cm$^{-2}$ e 24 Kgf.cm$^{-2}$, respectivamente.

Diante dos resultados encontrados para a madeira de Tajuva neste estudo e em outros estudos, assim como para as demais espécies, pôde-se afirmar que a espécie apresenta uma resistência à tração perpendicular média, em que se deve

ter um certo cuidado ao indicá-la para usos que requerem maiores esforços deste tipo.

O coeficiente de correlação entre a Mea e a resistência à tração da madeira de Tajuva foi de 0,59. Com isso realizou-se o ajuste do modelo de regressão para a estimativa da resistência à tração em função da Mea (Figura 18).

Figura 18 – Equação de regressão gerada para a predição da tração perpendicular da madeira de *Maclura tinctoria* em função de sua massa específica aparente a 12%




Fonte: Autor.

O modelo ajustado foi significativo pelo teste F, apresentando um valor-P igual a 0,0001 e explicando em 33,53% a variabilidade dos valores da resistência à tração da madeira de *Maclura tinctoria*.

### 4.2.5 Compressão axial

Os valores médios do módulo de elasticidade ($E_{c//}$), resistência máxima ($\mu_{máx}$) e tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) para o ensaio de compressão paralela, e massa específica aparente a 12% para a madeira de Tajuva encontram-se na Tabela 17. A variação das observações para o módulo de elasticidade em compressão paralela está acima do sugerido por Kretschmann (2010), que é em torno de 18%.

Tabela 17 – Valores médios do módulo de elasticidade ($E_{c\parallel}$), resistência máxima ($\mu_{máx}$) e tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) para o ensaio de compressão paralela, e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*

| Estatística | $E_{c\parallel}$ (Kgf.cm$^{-2}$) | $\alpha_{máx}$ (Kgf.cm$^{-2}$) | $\sigma_{LP}$ (Kgf.cm$^{-2}$) | Mea (g.cm$^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|
| Média | 152053,0 | 589,32 | 457,23 | 0,70 |
| DP | 33270,0 | 100,41 | 99,46 | 0,1 |
| CV(%) | 21,9 | 17,0 | 21,75 | 14,2 |
| Máximo | 208816,0 | 758,2 | 626,9 | 0,872 |
| Mínimo | 106903,0 | 422,6 | 303,9 | 0,541 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

Pedroso e Mattos (1987) encontraram para a madeira de Tajuva um módulo de elasticidade à compressão paralela ($E_{c\parallel}$) de 136900 Kgf.cm$^{-2}$ e tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) de 376 Kgf.cm$^{-2}$, ambos os resultados inferiores ao do presente estudo. Enquanto Mainieri e Chimelo (1989) descreveram para a espécie uma resistência máxima à compressão paralela ($\alpha_{máx}$) superior, no valor de 842 Kgf.cm$^{-2}$, os quais classificaram como alta.

Resultado semelhante foi observado pelo IBAMA (1997) que encontrou um valor de 878 Kgf.cm$^{-2}$, para madeira de Tajuva com Mea de 0,91 g.cm$^{-3}$. Esses mesmos autores descrevem para *Clarisia racemosa* uma resistência máxima de 658 Kgf.cm$^{-2}$. Essa espécie muitas vezes é confundida no comércio com a madeira deTajuva, por apresentarem características semelhantes (GONZAGA, 2006).

Dias e Lahr (2004) encontraram para *Bagassa guianensis* valores de compressão paralela superiores ao da Tajuva, sendo que essas duas espécies são caracterizadas por apresentarem propriedades mecânicas semelhantes. Nesse estudo, os autores descreveram para a madeira de *Bagassa guianensis* um $E_{c\parallel}$ de 189399 Kgf.cm$^{-2}$ e uma resistência à compressão paralela no valor de 805,5 Kgf.cm$^{-2}$, sendo a massa específica aparente de 0,945 g.cm$^{-3}$.

Em estudo sobre o uso das características tecnológicas da madeira para o agrupamento de espécies florestais, Melo et al. (2013) encontraram valores próximos ao da Tajuva para a resistência máxima à compressão paralela ($\alpha_{máx}$) para as espécies *Cupania vernalis* (Camboatá-vermelho), *Rapanea umbellata* (Capororoca) e *Diospyros inconstans* (Maria-preta), as quais apresentaram valores médios de 570 Kgf.cm$^{-2}$, 567 Kgf.cm$^{-2}$ e 600,1 Kgf.cm$^{-2}$. Valores próximos também foram descritos por Melo et al. (2010) ao avaliarem o lenho adulto da madeira de

*Araucaria angustifolia*, onde observaram um módulo de elasticidade à compressão paralela de 1465000 Kgf.cm$^{-2}$. Enquanto Santini, Haselein e Gatto (2000) descrevem para essa mesma espécie um $E_{c\parallel}$= 119778 Kgf.cm$^{-2}$ e uma $\sigma_{LP}$= 260 Kgf.cm$^{-2}$.

Diante dos resultados encontrados para a madeira de Tajuva neste estudo e nos demais estudos, assim como para outras espécies, pôde-se afirmar que a espécie apresenta uma alta rigidez quando submetida à compressão paralela, podendo ser indicada para usos em que ficará sujeita a este tipo de esforço.

Quanto à correlação entre as propriedades da compressão paralela e a massa específica aparente da madeira de Tajuva (Tabela 18), pôde-se verificar que a massa específica apresentou correlação significativa com a tensão no limite proporcional e a resistência máxima à compressão paralela. Enquanto que o módulo de elasticidade à compressão paralela não obteve correlação com nenhuma variável.

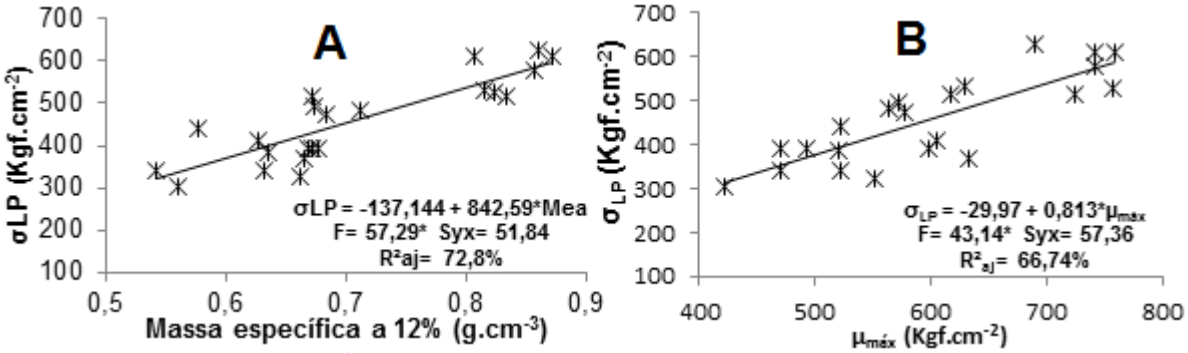
Tabela 18 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade à compressão paralela ($E_{c\parallel}$), resistência máxima ($\mu_{máx}$), tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) e massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*

| **Variáveis** | **$E_{c\parallel}$** | **$\sigma_{LP}$** | **$\alpha_{máx}$** |
|---|---|---|---|
| **Mea** | 0,34$^{NS}$ | 0,86* | 0,88* |
| **$E_{c\parallel}$** | | 0,31$^{NS}$ | 0,35$^{NS}$ |
| **$\sigma_{LP}$** | | | 0,82* |

Fonte: Autor.
Em que: * e $^{NS}$ = correlação significativa e não significativa pelo teste de Pearson ($p < 0,05$).

O modelo de regressão que melhor se ajustou para a estimativa do $E_{c\parallel}$ em função da Mea mostrou que não houve uma correlação significativa entre essas duas variáveis, pois apresentou um valor-P igual a 0,0862, ao nível de confiança de 95%. Para a estimativa da tensão no limite proporcional em função da Mea e da resistência máxima foi possível o ajuste de modelos com valor do teste F significativo (Figura 19).

Figura 19 – Equação de regressão gerada para a predição da tensão no limite proporcional para a compressão paralela em função da massa específica aparente (A) e da resistência máxima à compressão paralela (B)




Fonte: Autor.

A variável que melhor estimou os valores da tensão no limite proporcional para compressão paralela foi a massa específica, onde o modelo de regressão (Figura 19A), significativo pelo teste F, explica 72,8% da variabilidade da tensão no limite proporcional. O modelo para a estimativa da $\sigma_{LP}$ em função da resistência máxima à compressão (Figura 19B), significativo pelo teste F, explica 66,74% da variabilidade da tensão no limite proporcional.

### 4.2.6 Compressão perpendicular

Os valores médios do módulo de elasticidade ($E_{c\perp}$) e tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) para o ensaio de compressão perpendicular, e Mea para a madeira de Tajuva estão apresentados na Tabela 19.

Quanto à variação dos valores observados pode-se considerar satisfatória, principalmente em relação ao módulo de elasticidade, sendo que Kretschmann (2010) considera um coeficiente de variação adequado, para a compressão perpendicular, em torno de 28%, o qual se baseou ao avaliar as características tecnológicas de cinquenta espécies florestais.

Tabela 19 – Valores médios do módulo de elasticidade ($E_{c\perp}$) e tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) para o ensaio de compressão perpendicular, e massa específica aparente (Mea) a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*

| Estatística | $E_{c\perp}$ (Kgf.cm$^{-2}$) | $\sigma_{LP}$ (Kgf.cm$^{-2}$) | Mea (g.cm$^{-3}$) |
|---|---|---|---|
| Média | 10594,0 | 126,0 | 0,71 |
| DP | 2385,5 | 38,4 | 0,09 |
| CV(%) | 22,5 | 30,46 | 13,6 |
| Máximo | 14752,7 | 195,0 | 0,86 |
| Mínimo | 7221,8 | 78,1 | 0,52 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

O resultado obtido para a $\sigma_{LP}$ é inferior ao descrito pelo IBAMA (1997), que encontrou para a espécie um valor de 228 Kgf.cm$^{-2}$. Esse mesmo autor descreveu para duas espécies da família da Tajuva, *Clarisia racemosa* e *Brosimon rubescens*, uma $\sigma_{LP}$ de 95 Kgf.cm$^{-2}$ e 126 Kgf.cm$^{-2}$, sendo para a última espécie valor idêntico ao encontrado para a madeira do presente estudo.

A literatura carece de trabalhos que descrevam as características da madeira de *Maclura tinctoria* quanto as suas propriedades de resistência a compressão perpendicular, principalmente em relação ao seu $E_{c\perp}$. Com isso faz-se necessário o estudo de comparação com outras madeiras, a fim de caracterizá-la quanto a essa propriedade.

Vivian et al. (2010) encontraram para a madeira de *Peltophorum dubium* (Canafístula), aos 10 anos de idade e Mea de 0,64 g.cm$^{-3}$, um $E_{c\perp}$ e $\sigma_{LP}$ de 5220 Kgf.cm$^{-2}$ e 86,5 Kgf.cm$^{-2}$, respectivamente.

Santini, Haselein e Gatto (2000) encontraram para a madeira de *Araucaria angustifolia* um $E_{c\perp}$ e $\sigma_{LP}$ no valor de 3334 Kgf.cm$^{-2}$ e 58 Kgf.cm$^{-2}$, respectivamente. Resultados parecidos a esses foram encontrados por Beltrame et al. (2010), para a mesma espécie, a qual situava-se no estrato fitossociológico médio da floresta, em que apresentou um $E_{c\perp}$ igual a 3406,19 Kgf.cm$^{-2}$ e $\sigma_{LP}$ no valor de 56,19 Kgf.cm$^{-2}$ .

Para as espécies de *Pinus taeda* e *P. elliottii*, Santini, Haselein e Gatto (2000) encontraram um $E_{c\perp}$ de, respectivamente, 2960 Kgf.cm$^{-2}$ e 2595 Kgf.cm$^{-2}$, e $\sigma_{LP}$ no valor de 50 Kgf.cm$^{-2}$ e 54 Kgf.cm$^{-2}$, respectivamente.

Diante dos resultados expostos acima para as demais espécies, pode-se avaliar que a madeira de Tajuva apresenta uma elevada resistência à compressão perpendicular. Sendo assim, pode ser indicada para usos em que a peça de madeira

esteja sujeita à esforços no sentido perpendicular das fibras, como por exemplo, assoalhos e dormentes.

Quanto à correlação entre a Mea e as variáveis $E_{c\perp}$ e $\sigma_{LP}$, observou-se uma correlação altamente significativa pelo teste de Pearson (Tabela 20).

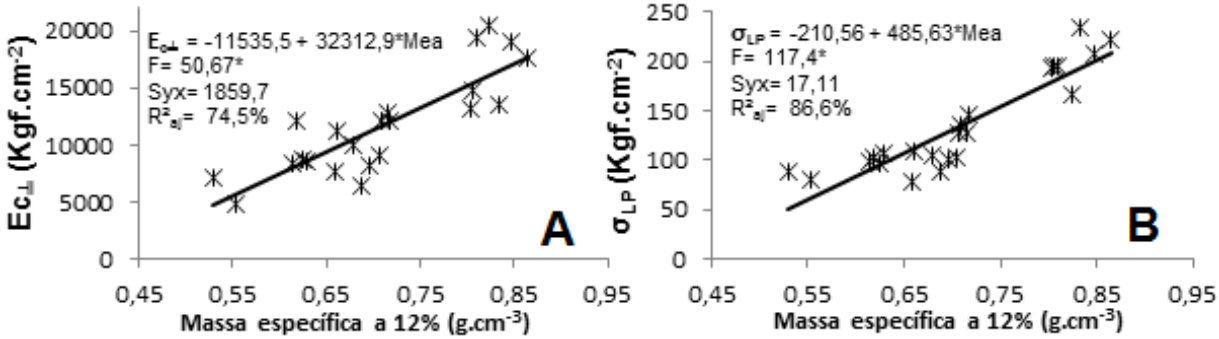
Tabela 20 - Coeficiente de correlação de Pearson entre o módulo de elasticidade à compressão perpendicular ($E_{c\perp}$), tensão no limite proporcional ($\sigma_{LP}$) e massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*

| Variáveis | $E_{c\perp}$ | $\sigma_{LP}$ |
|---|---|---|
| **Mea** | 0,87* | 0,93* |
| **$E_{c\perp}$** | | 0,89* |

Fonte: Autor.
Em que: * = correlação significativa pelo teste de Pearson ($p < 0,05$).

A partir da existência de correlação entre as variáveis foram possíveis os ajustes de modelos de regressão entre as propriedades da compressão perpendicular e a massa específica aparente (Figura 20).

Figura 20 – Equação de regressão gerada para a predição do módulo de elasticidade (A) e tensão no limite proporcional (B) para a compressão perpendicular em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*.




Fonte: Autor.

Ambos os modelos foram significativos pelo teste F, sendo que o modelo para predição dos valores do $E_{c\perp}$ em função da Mea (Figura 20A) explica a variabilidade dos valores de $E_{c\perp}$ em 74,5%, enquanto o modelo gerado para a estimativa da $\sigma_{LP}$ em função da Mea (Figura 20B) explica os valores da $\sigma_{LP}$ em 86,6%.

### 4.2.7 Flexão dinâmica

Os valores médios do trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K), cota dinâmica (CD), e Mea para a madeira de *Maclura tinctoria* encontram-se na Tabela 21. As propriedades da resistência ao impacto apresentaram elevado coeficiente de variação, acima de 30%. Kretschmann (2010) afirma que a variação ideal dos valores observados para esta propriedade é de até 25%. A elevada variação dos valores de W, K e CD pode ser atribuída a fatores intrínsecos da madeira, como por exemplo, presença ou ausência de lenho adulto e juvenil, inclinação da grã e até mesmo a idade das árvores amostradas, o que influencia em sua massa específica.

Tabela 21 – Valores médios do trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K), cota dinâmica (CD), e massa específica aparente a 12% para a madeira de *Maclura tinctoria*

| Estatística | W (Kgm) | K (Kgf.cm$^{-2}$) | CD | Mea (g.cm$^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|
| Média | 2,5 | 0,34 | 0,59 | 0,73 |
| DP | 0,89 | 0,12 | 0,19 | 0,09 |
| CV(%) | 35,6 | 36,0 | 32,6 | 13,34 |
| Máximo | 4,9 | 0,63 | 0,98 | 0,89 |
| Mínimo | 1,02 | 0,13 | 0,21 | 0,53 |

Fonte: Autor.
Em que: DP= desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

Os resultados apresentados na tabela acima são inferiores aos encontrados na literatura para a espécie. Mainieri e Chimelo (1989) descreveram para a Tajuva um trabalho absorvido (W), um coeficiente de resiliência (K) e cota dinâmica (CD) no teste de resistência ao impacto de 4,17 Kgm, 0,66 Kgf.cm$^{-2}$ e 0,88, respectivamente, os quais foram classificados como resistência média. E Pedroso e Mattos (1987) encontraram para essas mesmas variáveis, respectivamente, 3,93 Kgm, 0,64 Kgf.cm$^{-2}$ e 0,80.

Para a madeira de *Araucaria angustifólia* situada no estrato fitossociológico médio da floresta, Beltrame et al. (2010) encontraram para o ensaio de resistência ao impacto um W, K e CD no valor de 1,04 Kgm, 0,17 Kgf.cm$^{-2}$ e 0,77, respectivamente. Souza et al. (2013) encontraram para a madeira de *Patagonula americana* (Guajuvira), com massa específica aparente de 0,64 g.cm$^{-3}$, um W, K e

CD no valor de 4,74 Kgm, 0,72 Kgf.cm$^{-2}$ e 1,68, respectivamente. E para a madeira de *Ocotea catharinensis* (Canela-preta), com Mea no valor de 0,43 g.cm$^{-3}$, esses mesmos autores encontraram um W, K e CD no valor de, respectivamente, 1,53 Kgm, 0,23 Kgf.cm$^{-2}$ e 1,17.

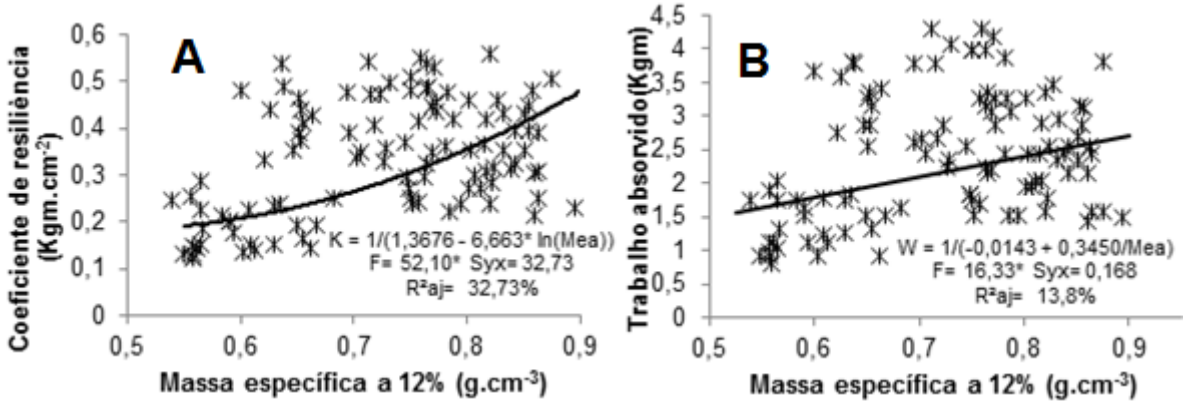
Já Beltrame et al. (2012) estudando a madeira de *Carya illinoinensis* (Nogueira-pecã), com massa específica aparente de 0,81 g.cm$^{-3}$, encontraram valores de W, K e CD, respectivamente, 2,97 Kgm, 0,45 Kgf.cm$^{-2}$ e 0,68.

A partir dos resultados expostos acima para as demais espécies e para a Tajuva em outros estudos, evidencia-se que a madeira dessa espécie apresenta uma resistência ao impacto que varia de moderada a alta intensidade, podendo assim, ser indicada para usos em que a peça de madeira esteja sujeita à desgastes mecânicos, ou seja, em situações de uso que a madeira sofra atritos (impactos) e vibrações, como por exemplo, cabos de ferramentas, construção de escadas, assoalhos e carrocerias de caminhões.

A massa específica aparente não se apresentou como uma boa propriedade para estimativa das variáveis W e CD. Resultados semelhantes foram encontrados por Beltrame et al. (2012). O coeficiente de correlação de Pearson, ao nível de 5% de probabilidade de erro, entre a Mea e essas duas variáveis foi de, respectivamente, 0,22 e 0,04. Enquanto que o coeficiente de correlação entre a Mea e o coeficiente de resiliência foi de 0,44, que apesar de fraco foi possível o ajuste de modelo de regressão para a estimativa do K em função da Mea (Figura 21A).

O modelo de regressão que melhor se ajustou aos valores de cota dinâmica em função da Mea apresentou um valor-P igual a 0,689, portanto não sendo significativo. Quanto à estimativa do trabalho absorvido em função da Mea, apesar da baixa correlação entre as mesmas, o modelo de regressão que melhor se ajustou foi significativo pelo teste F, apresentando um valor-P igual a 0,0261 e, portanto, sendo possível estimar os valores de W em função da Mea (Figura 21B).

Figura 21 – Equação de regressão gerada para a predição do coeficiente de resiliência (A) e trabalho absorvido (B) em flexão dinâmica em função da massa específica aparente a 12% da madeira de *Maclura tinctoria*




Fonte: Autor.

O modelo de regressão para a estimativa do K em função da massa específica explica em 32,73% a variabilidade dos valores do coeficiente de resiliência, enquanto que a equação para a predição do trabalho absorvido em função da Mea, explica a variabilidade de W em apenas 13,8%.

Essa baixa relação entre a massa específica e as variáveis K, CD e W é devido, principalmente, a grande influência que outras características intrínsecas à madeira, além da massa específica, apresentam sobre a sua resistência ao impacto, como por exemplo, inclinação da grã, percentagem de lenho adulto e juvenil, arranjo da estrutura anatômica, entre outros. Diante disso, amostras de madeira com a mesma faixa etária de massa específica podem apresentar uma ampla variação de resistência ao impacto, e assim, não serem influenciadas apenas pela densidade da espécie.

## 4.3 CARACTERIZAÇÃO COLORIMÉTRICA DA MADEIRA

Por meio dos parâmetros colorimétricos (L*, a*, b*, C e h*) foi possível caracterizar a madeira de maneira quantitativa e qualitativa, através do sistema CIELAB. Esses parâmetros de coloração se torna importante, principalmente, para a classificação do uso da madeira, em especial para fins que envolvem aspecto estético do material.

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos do cerne e alburno nos planos longitudinal radial, longitudinal tangencial e transversal da madeira de Tajuva estão apresentados na Tabela 22. Em ambas as regiões da madeira os valores das coordenadas a* e b* foram positivos, classificando-se assim, os corpos de prova utilizados no primeiro quadrante de cores no Sistema CIELAB, sendo esse o padrão de comportamento esperado para a coloração de madeiras (CAMARGOS, 1999).

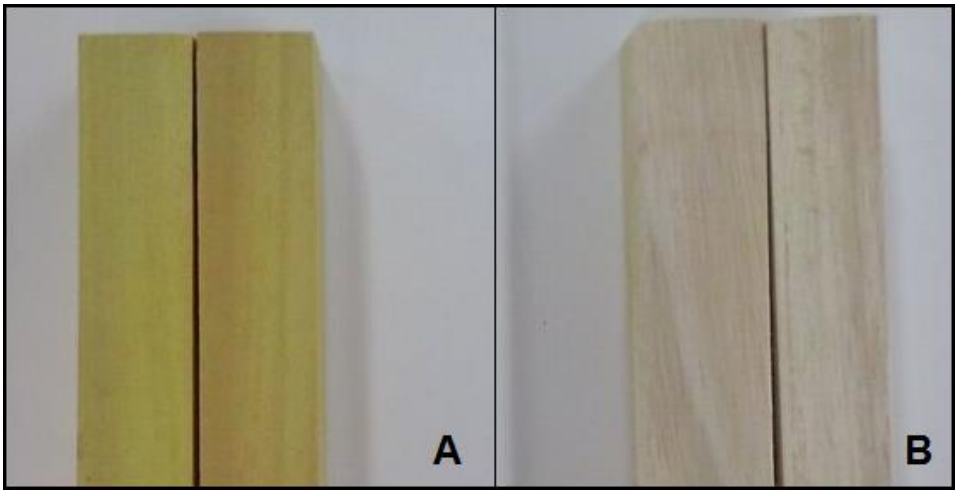
Tabela 22 – Valores médios dos parâmetros colorimétricos do cerne e alburno nos planos longitudinal radial, longitudinal tangencial e transversal da madeira de *Maclura tinctoria*

| Madeira | Plano | L* | a* | b* | C* | h* | Cor da madeira[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CERNE | Tang. | 77,26$^{A}$ | 4,45$^{A}$ | 42,67$^{A}$ | 42,94$^{A}$ | 84,20$^{A}$ | Amarela |
| | Rad. | 77,14$^{A}$ | 4,13$^{AB}$ | 42,65$^{A}$ | 42,92$^{A}$ | 84,19$^{A}$ | |
| | Trans. | 72,57$^{B}$ | 3,53$^{B}$ | 39,45$^{B}$ | 39,59$^{B}$ | 85,38$^{A}$ | |
| | **Média** | **76,38** | **4,17** | **42,09** | **42,34** | **84,41** | |
| ALBURNO | Tang. | 76,62$^{A}$ | 3,71$^{A}$ | 20,86$^{AB}$ | 21,18$^{AB}$ | 80,85$^{A}$ | Branca-acinzentada |
| | Rad. | 78,75$^{A}$ | 2,98$^{B}$ | 21,43$^{A}$ | 21,65$^{A}$ | 82,20$^{A}$ | |
| | Trans. | 72,67$^{B}$ | 2,81$^{B}$ | 18,93$^{B}$ | 19,12$^{B}$ | 82,11$^{A}$ | |
| | **Média** | **76,63** | **3,22** | **20,68** | **20,93** | **81,65** | |

Fonte: Autor.
Em que: L* = luminosidade; a* = coordenada cromática vermelho-verde; b* = coordenada cromática amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta. Para cada madeira, os valores seguidos por letras diferentes em cada coluna foram estatisticamente diferentes pelo Teste LSD de Fischer a 95% de confiança. [1] = Classificação de cor proposta por Camargos e Gonçalez, 2001.

Com base na classificação dos grupos de cores contidos no agrupamento de Cluster (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001), apresentado no Anexo A, determinaram-se as cores correspondente aos grupos de valores dos parâmetros colorimétricos L*, a* e b* obtidos para cada região da madeira. Observa-se na tabela acima que o cerne e o alburno da madeira de Tajuva apresentaram coloração distinta. O cerne apresentou coloração amarela (Figura 22A), enquanto o alburno caracterizou-se pela cor branca-acinzentada (Figura 22B).

Figura 22 - Coloração do cerne (A) e alburno (B) da madeira de *Maclura tinctoria*




Fonte: Autor.

A coloração amarela do cerne deu-se pelo alto valor do parâmetro b* (pigmentação amarela). A predominância do pigmento amarelo b* (42,02) no cerne da madeira é a característica marcante da espécie, ocorrendo uma baixa ocorrência do pigmento vermelho (a*=4,17). A variável h*, que determina o ângulo de tinta da madeira, ratifica a influência do pigmento amarelo na coloração do cerne, situando-se próxima ao eixo a* no sistema CIELAB (h*=84,41).

A alta luminosidade do cerne e alburno coloca a espécie entre as madeiras mais claras, com valores de L* acima de 76 para ambas as regiões, onde madeiras que apresentam valores para essa variável superior a 56 são consideradas claras (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

Quanto à coloração do cerne em relação aos três planos, verifica-se que para todos os parâmetros não ocorreram diferenças significativas entre os planos longitudinais. No entanto, ocorreu entre esses e o plano transversal da madeira, em que o plano transversal apresentou menores valores de luminosidade (L*=72,57), pigmentação amarela (b*=39,45) e vermelha (a*=3,53) em relação aos demais, o que lhe conferiu uma coloração mais escura.

Essa mesma ocorrência foi observada para o plano transversal do alburno. Atayde, Gonçalez e Camargos (2011) observaram para a madeira de Muirapiranga (*Brosimum* sp), pertencente à família Moraceae, uma redução da luminosidade do plano transversal em relação aos demais planos. Conforme Gonçalez et al. (2001), essa aparência mais escura da madeira no plano transversal deve-se à presença

dos anéis de crescimento, que aumentam o nível de cinza, e fazem com que ocorra uma diminuição da luminosidade (L*) e dos pigmentos a* e b*.

A importância de se conhecer a cor da madeira nas seções anatômicas, principalmente na radial e tangencial, está no fato da possibilidade da classificação do tipo de madeira pela cor durante o desdobro da tora. No caso da Tajuva, o desdobro não irá interferir na sua coloração, pois não houve diferença estatística entre os planos radial e tangencial. Sendo assim, independente da direção de desdobro a coloração será semelhante.

A coloração do alburno caracterizou-se por apresentar uma elevada redução da pigmentação amarela (b*=20,68) em relação ao cerne, e manter o elevado valor de luminosidade (L*=76,63) e de baixa pigmentação vermelha (a*=3,22), conferindo-lhe assim uma coloração branca-acinzentada.

Com isso, pode-se inferir que a distinta coloração entre as duas regiões da madeira de *Maclura tinctoria* deve-se a elevada presença do pigmento amarelo no cerne da espécie.

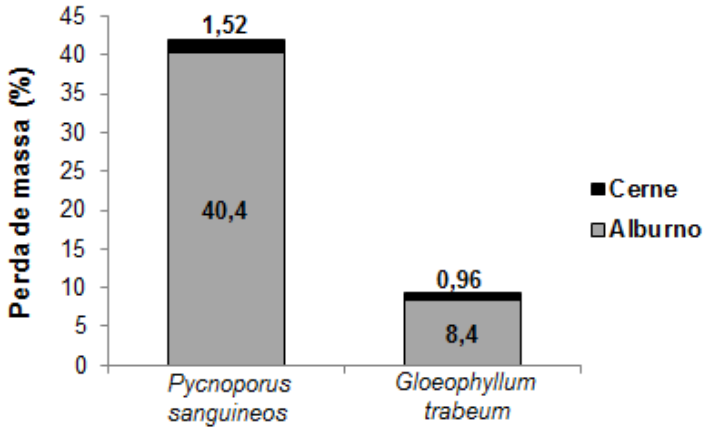
## 4.4 DURABILIDADE NATURAL

Por ser oriunda de um organismo vivo, a madeira está sujeita à biodeterioração, principalmente por fungos apodrecedores. Com isso, torna-se importante além de caracterizar suas propriedades físicas e mecânicas, avaliar a sua resistência a esses organismos, ou seja, determinar a sua durabilidade natural, a fim de designar o uso mais correto para a madeira. Uma das formas de obter-se esses resultados é através da determinação da perda de massa da madeira quando exposta à ação desses agentes degradadores.

### 4.4.1 Perda de massa

A Figura 23 apresenta os resultados médios da perda de massa sofrida pelo cerne e alburno da madeira de *Maclura tinctoria* durante o ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório com os fungos *Pycnoporus sanguineos* (podridão-branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão-parda).

Figura 23 – Valores médios da perda de massa (%) observados para o cerne e o alburno da madeira de *Maclura tinctoria* submetida ao ataque pelos fungos *Pycnoporus sanguineos* e *Gloephyllum trabeum*




Fonte: Autor.

Observa-se na figura acima uma grande influência do tipo de lenho (cerne ou alburno) da madeira sobre os valores médios da perda de massa, assim como o tipo de fungo que atacou a madeira. A distinta perda de massa para a mesma região do lenho atacada por diferentes fungos, principalmente para o alburno, onde a perda de massa foi cinco vezes maior para a madeira submetida ao ataque de *Pycnoporus sanguineos*, está relacionada com a preferência alimentar de cada fungo. O fungo *Pycnoporus sanguineos* degrada mais intensamente madeiras de folhosas, enquanto que o fungo *Gloeophyllum trabeum* apresenta certa preferência alimentar por madeiras de coníferas (CURLING; WINANDY; CLAUSEN, 2000; HIGHLEY, 1982; HIGHLEY et al.1985).

Quanto à diferença de ataque para o mesmo fungo em relação ao cerne e alburno, está relacionada à variação de substâncias presentes em cada região do lenho. Entre essas duas regiões há presença distinta de substâncias nutritivas e extrativos, o que faz com que a durabilidade à organismos xilófagos seja diferente. Segundo Gonçalves et al. (2013) e Silva; Lopes; Oliveira (2004) no alburno contém uma elevada disponibilidade de material nutritivo, tornando-o mais suscetível ao ataque de fungos. Enquanto no cerne as substâncias nutritivas são ausentes, além de ocorrer a presença de extrativos, e por consequência, faz com que essa região, normalmente, apresente maior resistência natural.

Outro fator que pode influenciar na intensidade de ataque por fungos apodrecedores é a massa específica da madeira. Conforme Panshin e De Zeew

(1980) essa propriedade pode inclusive ser empregada como indicativo de sua durabilidade natural, em que madeiras mais densas são menos propensas à degradação por esses organismos. No presente estudo, no entanto, observou-se que a massa específica do material não teve influência na intensidade de ataque de ambos os fungos, sendo que o cerne e o alburno apresentaram uma densidade aparente média no valor de 0,732 $g.cm^{-3}$ e 0,679 $g.cm^{-3}$, respectivamente.

Assim pode-se dizer que a diferente resistência entre o cerne e o alburno da madeira de *Maclura tinctoria* pode ser atribuída à variação de extrativos entre as duas regiões. Alves et al. (2006), Carvalho et al. (2015) e Modes et al. (2012) não encontraram uma relação entre a massa específica e a resistência natural da madeira, afirmando que a distinta degradação pelos organismos xilófagos para diferentes madeiras está relacionada com a grande presença de taninos e outras substâncias fenólicas, as quais são tóxicas para grande parte dos fungos.

Em relação à classificação da madeira de *Maclura tinctoria* quanto à sua resistência ao ataque de fungos apodrecedores, pode-se verificar que a região do cerne foi altamente resistente, conforme norma ASTM 2017 (2005), tanto ao ataque de *Pycnoporus sanguineos*, com perda de massa de 1,52%, quanto por *Gloeophyllum trabeum*, que apresentou apenas 0,96% de perda. Enquanto que a região do alburno, foi moderadamente resistente ao fungo de podridão branca, com perda de massa de 40,4%, e altamente resistente ao ataque do fungo de podridão parda, com apenas 8,4% de perda.

Essa alta resistência biológica da madeira de Tajuva, principalmente a região do cerne, infere que a mesma apresenta um desempenho satisfatório quando utilizada em situações de contato com o solo, podendo-se assim, ser indicada para usos externos, como por exemplo, em construções rurais, mais especificamente, em moirões de cercas, esteios de galpões, postes e vigas de pontes.

Modes et al. (2012) encontraram valores de perda de massa inferiores a 10% para o cerne de madeiras de espécies florestais submetidas ao ataque do fungo *Pycnoporus sanguineos*, onde obtiveram-se para as espécies *Platanus x acerifolia, Carya illinoinensis, Luehea divaricata, Peltophorum dubium* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente, 0,54%, 1,51%, 2,02%, 4,38% e 6,06% de perda de massa. Assim como Alves et al. (2006) que encontraram para as madeiras de *Aspidosperma desmanthum, Parinari excelsa, Mouriri callocarpa, Marmaroxylom racemosum, Peltogyne paniculata* e *Astronium* sp. quando submetidas ao ataque desse mesmo

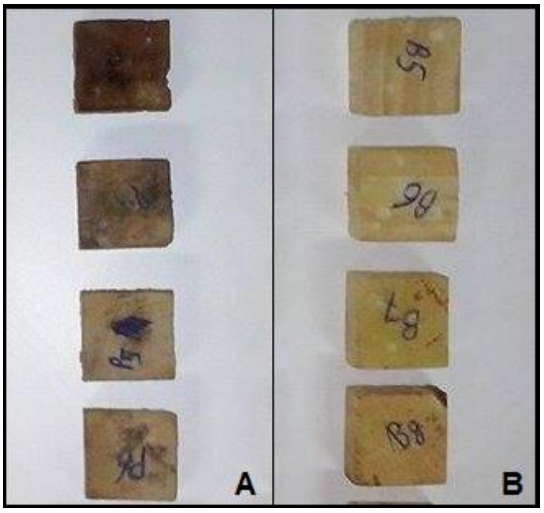
fungo de podridão branca, uma perda de massa variando de 0,05 a 3,21%. E para essas mesmas espécies quando submetidas ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, a variação de perda de massa foi entre 1,97 a 12,12%.

Para madeiras submetidas ao ataque de *Gloeophyllum trabeum*, Vivian et al. (2015) encontraram para a madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* uma perda de massa de apenas 0,51%, enquanto que para esse mesmo fungo, Okino et al. (2015) descreveram uma perda de massa entre 21,04 a 34,58% para as espécies *Couratari stellata, Couratari guianensis* e *Couratari oblongifolia*.

Diante desses resultados apresentados sobre diversos estudos percebe-se que o mesmo fungo submetido ao ataque à diferentes madeiras degrada-as em intensidades variadas, reforçando-se assim, o conceito de que a durabilidade natural de uma madeira está relacionada, principalmente, com as concentrações de extrativos e outras substâncias presentes em seu lenho, as quais inibem o ataque dos organismos xilófagos.

Quanto à aparência das amostras de cerne e alburno da madeira de *Maclura tinctoria* após o ataque dos fungos apodrecedores, observa-se que o ataque pelos fungos *Gloeophyllum trabeum* deixou a madeira com um aspecto marrom escuro e queimado (Figura 24A). Enquanto madeiras atacadas por *Pycnoporus sanguineos* apresentaram uma coloração mais pálida e esbranquiçada (Figura 24B).

Figura 24 – Aspecto das amostras de alburno da madeira de *Maclura tinctoria* após o ensaio de apodrecimento acelerado




Fonte: Autor.
Em que: Amostras de alburno submetidas ao ataque dos fungos *Gloeophyllum trabeum* (A) e *Pycnoporus sanguineos* (B)

Esse aspecto da madeira de *Maclura tinctoria* atacada pelos fungos da podridão parda e branca corrobora com o descrito por Arantes e Milagres (2009); Moreschi (2013); Oliveira et al. (2005); Santini (1988) e Vivian et al. (2015).

### 4.4.2 Alteração colorimétrica

Os parâmetros colorimétricos do cerne e alburno da madeira de *Maclura tinctoria* em condição natural (testemunha) e após o ataque dos fungos *Pycnoporus sanguineos* e *Gloeophyllum trabeum* descritos conforme o sistema CIELAB 1976 (Tabela 23). As cores correspondentes aos grupos de valores dos parâmetros colorimétricos L*, a* e b* obtidos para cada região da madeira foram identificadas de acordo com a classificação dos grupos de cores contidos no agrupamento de Cluster (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001), apresentado no Anexo A.

Tabela 23 – Parâmetros colorimétricos do cerne e alburno da madeira de *Maclura tinctoria* em condição natural (testemunha) e após o ataque dos fungos *Pycnoporus sanguineos* (podridão branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda)

| Madeira | Fungo | L* | a* | b* | C* | h* | Cor da Madeira[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CERNE | Testemunha | $72,67^{A}$ (2,52) | $2,98^{A}$ (1,29) | $37,51^{A}$ (2,9) | $37,65^{A}$ (2,9) | $85,73^{A}$ (2,0) | Amarelo |
| | *Pycnoporus sanguineos* | $58,23^{B}$ (4,76) | $10,05^{B}$ (2,26) | $42,4^{C}$ (3,49) | $43,66^{B}$ (3,19) | $76,5^{B}$ (3,49) | Amarelo-claro |
| | *Gloeophyllum trabeum* | $56,00^{B}$ (6,06) | $9,23^{B}$ (2,08) | $38,94^{BC}$ (7,08) | $40,11^{BC}$ (7,09) | $76,41^{B}$ (3,09) | Amarelo-alaranjado |
| ALBURNO | Testemunha | $72,85^{A}$ (1,66) | $3,20^{A}$ (0,49) | $18,5^{A}$ (2,91) | $18,84^{A}$ (2,81) | $79,31^{A}$ (2,91) | Branco-acinzentado |
| | *Pycnoporus sanguineos* | $66,33^{B}$ (2,44) | $9,10^{B}$ (1,41) | $33,96^{B}$ (2,85) | $35,18^{B}$ (3,03) | $75,04^{B}$ (1,6) | Amarelo-claro |
| | *Gloeophyllum trabeum* | $54,08^{C}$ (8,47) | $4,76^{C}$ (0,98) | $21,04^{A}$ (3,75) | $21,59^{A}$ (3,82) | $77,29^{BC}$ (1,82) | Marrom-avermelhado |

Fonte: Autor.
Em que: L* = luminosidade; a* = coordenada cromática vermelho-verde; b* = coordenada cromática amarelo-azul; C = saturação; h* = ângulo de tinta; ∆E* = variação total da cor. Para cada madeira, os valores seguidos por letras diferentes em cada coluna foram estatisticamente diferentes pelo Teste LSD de Fischer a 95% de confiança. [1] = Classificação de cor proposta por Camargos e Gonçalez, 2001. Os valores entre parênteses são os desvios padrões.

Pode-se verificar na tabela acima que, de uma forma geral, os parâmetros colorimétricos foram alterados tanto pelo ataque dos fungos de podridão branca, quanto pelos de podridão parda. Para ambas as regiões da madeira, verificou-se

diferenças estatísticas significativas, quando comparados aos valores da madeira não colocada em contato com os microrganismos xilófagos, com exceção da pigmentação amarela (b*) e da cromaticidade (C*) para a região do alburno após a exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

Observa-se a redução da luminosidade (L*) para as amostras de cerne e alburno expostas aos dois tipos de fungos apodrecedores, apresentando-se assim, tendência ao escurecimento superficial. Onde se verifica que os corpos de prova, tanto da região do cerne quanto do alburno, expostos ao fungo *Gloeophyllum trabeum* apresentaram a maior redução de luminosidade, respectivamente, 22,94% e 25,76%.

O cerne da madeira de *Maclura tinctoria* apresentava antes de ser submetido ao ataque pelos fungos apodrecedores uma coloração amarela, e após o contato com os fungos *Pycnoporus sanguineos* e *Gloeophyllum trabeum*, amarelo claro e amarelo-alaranjado, respectivamente. Enquanto o alburno apresentava uma coloração inicial branca-acinzentada, e posteriormente ao ataque por esses fungos, respectivamente, amarelo claro e marrom-avermelhado.

Em relação ao cerne quando atacado pelo fungo de podridão branca, observou-se que a superfície da madeira tornou-se mais esbranquiçada, em que apresentou uma redução de sua luminosidade (L*=72,67 para L*=58,23). Conforme Moreschi (2013) e Santini (1988) essa alteração na cor da madeira atacada por esse tipo de fungo é devido à destruição dos pigmentos, além desses fungos degradarem celulose, hemicelulose e lignina, fazendo com que a madeira adquira esse aspecto mais claro (ARANTES; MILAGRES, 2009; OLIVEIRA et al., 1986; OLIVEIRA et al., 2005; VIVIAN et al., 2015).

Apesar do aumento da pigmentação amarela (b*=37,51 para b*42,4) no cerne atacado pelo *Pycnoporus sanguineos*, ocorreu um elevado aumento da pigmentação vermelha (a*=2,98 para a*=10,05) e diminuição do ângulo de tinta (h*=85,73 para h*=76,5), o que ocasionou a aproximação ao eixo da coordenada a*. Por consequência disso, uma menor influência da pigmentação amarela sobre a cor da madeira, acarretando assim, na cor amarelo claro após o ataque do fungo.

O fungo *Gloeophyllum trabeum* após ataque ao cerne deixou a superfície da madeira com uma coloração mais escura. Embora a ocorrência da redução da luminosidade (L*=72,67 para L*=56,0) e o aumento da pigmentação amarela em 3,81%, ocorreram o aumento significativo da pigmentação vermelha (a*=2,98 para

a*=9,23) e uma redução do ângulo de tinta (h*=86,41 para h*=76,41), o que deixou a madeira com um aspecto mais avermelhado em relação às amostras iniciais, e originando-se assim, a cor amarelo-alaranjado.

O alburno quando submetido ao ataque do fungo *Pycnoporus sanguineos* apresentou um significativo aumento do pigmento amarelo (b*= 18,5 para b*=33,96) e da saturação (C*= 18,84 para C*=35,18), além da pequena diminuição do ângulo de tinta (h*=79,31 para h*=75,04) e luminosidade (L*=72,58 para L*=66,38). Esse elevado aumento da coordenada b* pode ter ofuscado a presença do pigmento vermelho (a*=9,10) e tornado a madeira mais amarelada.

Após ser submetido ao contato com o fungo *Gloeophyllum trabeum,* o alburno apresentou-se com a superfície marrom e com aspecto queimado em decorrência da degradação da celulose e hemicelulose (ERIKSSON; BLANCHETTE, 1990; GREEN; HIGHLEY, 1997). Por consequência, apresentou uma significativa diminuição da luminosidade (L*=72,58 para L*=54,08), e apesar do valor baixo da pigmentação vermelha (a*=4,76), o valor da coordenada b* e da saturação não aumentaram significativamente em relação à testemunha, acarretando assim na coloração marrom-avermelhado do alburno atacado por fungos da podridão parda.

Os valores médios da variação dos parâmetros colorimétricos (L*, a* e b*) e da variação total da cor (ΔE) do cerne e alburno da madeira de *Maclura tinctoria* submetida ao ataque pelos fungos apodrecedores, encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24 – Valores médios da variação dos parâmetros colorimétricos do cerne e alburno da madeira de Maclura tinctoria submetida ao ataque dos fungos *Pycnoporus sanguineos* e *Gloeophyllum trabeum*

| Madeira | Fungo | ΔL* | Δa* | Δb* | ΔE* |
|---|---|---|---|---|---|
| CERNE | *Pycnoporus sanguineos* | -15,57$^{A}$ (2,85) | 7,44$^{A}$ (2,11) | 7,44$^{A}$ (2,11) | 18,49$^{A}$ (2,35) |
| | *Gloeophyllum trabeum* | -18,94$^{A}$ (5,20) | 5,85$^{A}$ (2,78) | 5,24$^{A}$ (2,67) | 19,10$^{A}$ (2,48) |
| ALBURNO | *Pycnoporus sanguineos* | -7,80$^{B}$ (3,05) | 6,45$^{A}$ (1,71) | 16,02$^{B}$ (3,12) | 18,19$^{A}$ (2,23) |
| | *Gloeophyllum trabeum* | -19,56$^{A}$ (9,98) | 2,07$^{B}$ (1,20) | 5,19$^{A}$ (4,54) | 15,32$^{B}$ (0,74) |

Fonte:Autor.
Em que: ΔL* = variação da luminosidade; Δa* = variação na coordenada cromática verde-vermelha; Δb* = variação na coordenada cromática amarela-azul; ΔE* = variação total da coloração. Os valores seguidos por letras diferentes em cada coluna foram estatisticamente diferentes pelo Teste LSD de Fischer a 95% de confiança. Os valores entre parênteses são os desvios padrões.

Verifica-se na tabela acima que as variações dos parâmetros colorimétricos apresentaram para ambos os fungos e regiões da madeira valores negativos de $\Delta L^*$, e positivos de $\Delta a^*$ e $\Delta b^*$, o que significa a redução da luminosidade e aumento das pigmentações vermelha e amarela, respectivamente, para os corpos de prova submetidos ao ataque dos fungos em relação às testemunhas.

As cores mais escuras das superfícies das madeiras foram observadas para os corpos de prova colocados em contato com o fungo *Gloeophyllum trabeum,* tanto para o cerne quanto para o alburno, os quais apresentaram valores de, respectivamente, -18,94 e -19,56. Esse elevado escurecimento tornou-se uma característica marcante na madeira atacada por esse tipo de fungos, devido à degradação dos polissacarídeos (celulose e hemocelulose).

As maiores variações de cores foram observadas no cerne para ambos os fungos. No entanto não diferiram significativamente da variação ocorrida no alburno pelo fungo da podridão branca. Entretanto, conforme a classificação proposta por Stangerlin (2012) para a diferença de coloração entre os corpos de prova da testemunha e as atacadas pelos fungos, todos os tratamentos apresentaram uma diferença de cor muito perceptível.

Costa et al. (2011) encontraram para a madeira do Marupá (*Simarouba amara*) após o ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum* uma variação total de cor no valor de 25,33, e para Andiroba (*Carapa guianenis*) atacada pelo mesmo fungo, um valor de 13,02. Para esse mesmo fungo da podridão parda, Stangerlin et al. (2013) encontraram para as madeiras de *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Simarouba amara* (Marupá) e *Cariniana micrantha* (Jequitibá) na 16ª semana de contato com o fungo uma variação total na cor no valor de 24,64, 33,60 e 25,82, respectivamente.

A partir dos resultados encontrados para as características físicas, mecânicas e durabilidade natural da madeira de Tajuva neste estudo, pôde-se notar que a mesma apresenta características tecnológicas satisfatórias em comparação com as espécies de crescimento rápido, como *Pinus* e *Eucalyptus*, assim como, para as demais espécies nativas. Com isso torna-se uma alternativa com grande potencial de uso como matéria-prima a ser empregada nos mais variados fins.

# 5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados do presente estudo, pôde-se concluir que:

- As massas específicas básica e verde apresentaram um decréscimo no sentido base-topo da árvore, enquanto o teor de umidade máximo apresentou um aumento nesse mesmo sentido;

- De acordo com sua massa específica aparente, a madeira de Tajuva é classificada como pesada;

- A madeira apresentou uma boa estabilidade dimensional, e assim, pode ser indicada para usos em ambientes externos, onde ocorre uma grande variação do teor de umidade;

- Ocorreu correlação entre a massa específica aparente da madeira com o módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) em flexão estática, dureza Janka, tensão no limite proporcional e resistência máxima à compressão paralela e compressão perpendicular. Com isso, essa propriedade física torna-se uma variável indicada para a predição da resistência da madeira quanto a essas propriedades mecânicas;

- A espécie apresentou alta resistência mecânica em ensaios de flexão estática, cisalhamento, dureza Janka, compressão paralela e compressão perpendicular, podendo ser indicada para usos em que ficará sujeita a estes tipos de esforços;

- Para os ensaios de tração perpendicular às fibras e flexão dinâmica a madeira apresentou resistência moderada;

- A coloração foi distinta entre o cerne e o alburno, enquanto o cerne caracterizou-se pela cor amarela, o alburno caracterizou-se pela coloração branca-acinzentada;

- A região do cerne caracterizou-se pela alta resistência ao ataque dos fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Gloeophyllum trabeum*, enquanto a região do alburno apresentou resistência moderada ao ataque do fungo *Pycnoporus sanguineus,* e alta ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum;*

- Ambos os fungos proporcionaram um escurecimento na superfície da madeira após seu ataque, tanto no cerne quanto no alburno;

- Quanto às indicações de uso da madeira da Tajuva para o seu melhor aproveitamento e desempenho, infere-se que por apresentar elevada rigidez e resistência à biodegradação de seu cerne, a mesma pode ser indicada para usos externos, como por exemplo, em construções rurais, mais especificamente, em moirões de cercas, esteios de galpões, postes, dormentes e vigas de pontes, e na construção civil, como caibros, vigas e assoalhos.

- Como sugestões para trabalhos futuros com a madeira de Tajuva, recomenda-se avaliar a sua resistência à degradação por outras espécies de fungos. Assim como, determinar as classes de extrativos presentes na madeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ALEXOUPOULOS, C.J.; MINIS, C.W.; BLACKWELL, M. **Introductory mycology**. 4. ed. New York: J. Wiley, 1996. 868p.

ALMEIDA, N. A. et al. Biodeterioração de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. *var. australis*). **Cerne**. Lavras, v. 18, n. 1, p. 17-26, jan./mar. 2012.

ALVES, M. V. S. et al. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores, em ensaios de laboratório. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 17-26. 2006.

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *Urophylla*. **Scientia Forestalis**. n. 68, p.87-95, ago. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D 143-94:** Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia, 2005. 31p.

_____. **ASTM D 2017:** Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. Philadelphia, 2005.

_____. **ASTM D 2395-93**: Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. Philadelphia, 1997.

_____. **ASTM D 2555-98**. Standard test methods for establishing clear wood strength values. Philadelphia, 2005.

_____. **ASTM D 4442-92**: Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials. Philadelphia, 1997.

ARANTES, V.; MILAGRES, A. M. F. Relevância de compostos de baixa massa molar produzidos por fungos e envolvidos na biodegradação da madeira. **Química Nova**. Vol. 32, n. 6, p. 1586-1595. 2009.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood preservation. In: WALKER, J. C. F. (Org.). Primary wood processing: principles and practice. **Springer**. Dordrecht. P.297-338. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira - Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ATAYDE, C. M.; GONÇALEZ, J.C.; CAMARGOS, J.A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de muirapiranga (*Brosimum* sp.). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 231-235, abr./jun. 2011.

BARILLARI, C.T. **Durabilidade da madeira do gênero Pinus tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 68p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

BARREAL, J. A. R. **Patología de la madera.** Madrid: Fundación Conde Del Valle de Salazar, Ediciones Mundi-Prensa; 1998.

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, out.-dez. 2010.

BELTRAME, R. et al. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (bertol.) em três estratos fitossociológicos. . **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 54-69, nov. 2010.

_____. Resistência ao impacto da madeira de Nogueira-pecã em diferentes condições de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1583-1587, set, 2012.

BERG, M. E. V. D.; SILVA, M. H. L. da. Contribuição ao conhecimento da flora medicinal do Maranhão. In: Simpósio do Trópico Úmido, 1., 1984, Belém. **Anais**... Brasília: Embrapa, v. 11, p.119-125. 1986.

BORGO, M. **A Floresta Atlântica do litoral norte do Paraná, Brasil: aspectos florísticos, estruturais e estoque de biomassa ao longo do processo sucessional.** 2010. 165p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará**. Fortaleza: Departamento Nacional de Obras Contra a Seca, 1976. 540p.

CAMARGOS, J. A. A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de um catálogo de cores de madeiras tropicais.** 1999. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

_____; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**. n. 71, p.30-41. 2001.

CARVALHO, A. **Madeiras portuguesas - estrutura anatômica, propriedades, utilizações**. Instituto Florestal, vol. 1.  1996, 340p.

CARVALHO, D. E. et al. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**. v. 22, n. 2, p. 271-276. 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.

CRUZ, C. R.; LIMA J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 33-47, dez. 2003

CURLING, S.; WINANDY, J.E.; CLAUSEN, C.A. An experimental method to simulate incipient decay of wood by basidiomycete fungi. In: The International Research Group on Wood Preservation; Section 2, Test methodology and assessment; IRG/WP 00-20200, 31, 2000, Kona, USA. **Proceedings**... Kona: IRG, 2000. 13p.

COSTA, M. A. et al. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 567-577, jul.-set., 2011.

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

DURLO, M. A., MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira**: peso específico. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1991. 29p. (Série Técnica, 10).

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection**. Londres: Chapman e Hall, 1993. 546p.

ERICKSSON, K. E. L.; BLANCHETTE, R. A.; ANDER, P.; **Biodegradation of lignin. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components**, Springer-Verlag: Berlin, 1990.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo: Nobel. 1985. 108p.

GARCIA, C. C. et al. Regeneração natural de espécies arbóreas em fragmento de floresta estacional semidecidual montana, no domínio da Mata Atlântica, em Viçosa, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 21, n. 4, p. 677-688, out.-dez. 2011.

GLASS, S.V. e ZELINKA, A.L. 2010. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook** – Wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, p 1-19.

GOMES, G. A. C. et al. Micropropagation of *Maclura tinctoria* L.: an endangered woody species. **Revista Árvore,** Viçosa-MG, v.34, n.1, p.25-30, 2010.

_____. Plant regeneration from callus cultures of maclura tinctoria, an endangered woody species. **Plant**, v. 39, p.293–295, 2003.

GONÇALEZ, J. C. et al. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 72, p. 47-58, 2001.

GONÇALEZ, J. C.; MACEDO, D.G. Colorimetria aplicada a madeira de eucalipto. In: SILVA, J. C.; GOMES, J.M. (Eds.) **II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto.** Belo Horizonte. p.81-95. 2003.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de** *Eucalyptus urophylla* x *grandis* **para produtos sólidos**. 2006. 167p. Dissertação. (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

_____ et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 110-116, jan./mar. 2013.

_____. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 2, p. 277-288, 2009.

GONZAGA, L. A. Madeira: Uso e conservação. Brasília, DF: **IPHAN/MONUMENTA**, 2006. v.6, 246 p. (cadernos técnicos).

GREEN, D.; WINANDY, J. E.; KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: **Wood handbook** – Wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1999.

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. **Revista Ciência Florestal**, v.12, n.2, p.147-152, 2002.

HIGHLEY, T. L. Influence of type and amount of lignin on decay by *Coriolus versicolor.* **Can. J. For. Res**., n. 12, p. 435-438. 1982.

_____; MURMANIS, L.; PALMER, J.G. Micromorphology of degradation in western hemlock and sweetgum by the brown-rot fungus *Poria placenta.* **Holzforschung**, v. 39, p. 73-78, 1985.

HON, D. N. S.; CHANG, S  T. Photoprotection of wood surfaces by wood-ion complexes. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 17, n. 1, p. 92-100. 1985.

IBAMA. Madeiras da Amazônia: características e utilização. Amazônia Oriental. Brasília: **IBAMA**, 1997. vol. 3, 141p.

JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2008. 142 f. Tese (Division of Wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden, 2008.

KOLLMANN, F. E. P.; COTÉ, W. A. Principles of wood science and technology. V.1. **Solid Wood**. Reprint. Berlin, Heidelberg, New York: Springer – Verlag: 1968 – 1984.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: Forest Products Laboratory. **Wood Handbook: wood as an engineering material.** Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010. p.1-46

L'A Association Francaise de Normalization - AFN. **NF B51-009**: Norme Francaise, bois essai de choc ou flexion dynamique. Paris, 1942. 3p.

LACHANCE, M. A. et al. The yeast community of sap fluxes of Costa Rican *Maclura* (*Chlorophora*) *tinctoria* and description of two new yeast species, *Candida galis* and *Candida ortonii*. **FEMS Yeast Research**, v.1, p. 87-92, 2001.

LAHR, F. A. R. et al. Influência da densidade na dureza paralela e na dureza normal às fibras para algumas espécies tropicais brasileiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 153-158, jun. 2010.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de janeiro, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LITTLE JUNIOR, E. L.; DIXON, R. G. **Arboles comunes de La provincia de Esmeraldas**. Ecuador. Washington: Peace Corps, 536 p. 1983.

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

LOGSDON N. B.; CALIL JUNIOR C. Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 18, p. 77-107, 2002.

LOPES G. A.; GARCIA J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**. n. 62, p. 13-23, dez. 2002

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2008. v. 1, 5 ed.

LUCAS FILHO, F. C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de** *Pinus elliottii* **var.** *elliottii* **Engelm e** *Pinus taeda* **L**. 1997. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1997.

MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE/AM/Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2000. 212 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características de madeiras brasileiras**. São Paulo: Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo, 1989. 240p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Angiospermas: das Magnoliáceas às Flacurtiáceas.** Santa Maria: Editora UFSM, 1997. 271 p.

MARTINS, T. F. R. M. **Dimensionamento de estruturas em madeira: coberturas e pavimento**. 2010. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico: Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2010.

MATTOS, B.D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p-121-126, 2011.

MELO, R. R. et al. Caracterização física e mecânica da madeira de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze. **Agrária**, Recife, v. 5, n. 1, p. 67-73, jan./mar. 2010.

_____. Uso das características tecnológicas da madeira para o agrupamento de espécies florestais. **Nativa**, Sinop, v. 01, n. 01, p. 01-07, out./dez. 2013.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. da S. **A deterioração da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF, 1988. 57p.

MENDES, L. M. et al. **Anatomia e características físico-quimícas da madeira de** *Zanthoxylum tingoassuiba* **St. Hil. de ocorrência na região de Lavras/MG**. Lavras: UFLA, 2002.

MODES, K. S. et al. Resistência natural das madeiras de sete espécies florestais ao fungo *Pycnoporus sanguineus* causador da podridão-branca. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 407-411, jul./set. 2012.

MONTELES R., PINHEIRO C. U. B. Plantas medicinais em um quilombo maranhense: uma perspectiva etnobotânica. **Revista de Biologia e Ciência Terra**, v. 7, n. 2, p. 38-48, 2007.

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

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**. Manual didático. 4ª edição, UFPR, 2013.

_____. **Propriedades Tecnológicas da madeira** - Manual Didático. 4ª ed, UFPR, 2012. 194p.

MORI, C. L. S. O. et al. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne,** Lavras, v. 11, n. 2, p. 137-146, abr./jun. 2005.

MOURA, M. C. de O. **Variações em características do crescimento em clones de** *Eucalyptus.* 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

OLIVEIRA, A.M.F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, v.1, p. 99-278, 1986.

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

_____. et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

_____; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

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

_____; TOMASELLO, M.; SILVA, J. C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 6, p. 993-998, 2005.

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

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

_____; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 275-282, 2004.

PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**. n. 20, p. 54-62, 2007.

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

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **897 madeiras nativas do Brasil: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Porto Alegre: Cinco continentes, 2007. 438p.

PEDERNEIRAS, L.C. et al. *Moraceae* das restingas do estado do Rio de Janeiro. **Rodriguésia**, n. 62, v.1, p. 77-92, 2011.

PEDROSO, O., MATTOS, J.R. **Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis "Ataliba Paz", 1987. 181p.

PINCELLI A. L. P. S. M.; MOURA L. M.; BRITO J. O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. Maderas. **Ciencia y tecnologia**. v. 14 n. 2, p. 239-248. 2012.

RAMOS, S. I. N. **Caracterização das propriedades mecânicas e durabilidade biológica da madeira de** *Quercus faginea*. 2009. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS A. Projeto Madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, n. 34-35, p. 1-525, 1983.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* **Hill ex Maiden e** *Eucalyptus dunnii* **Maiden como fontes de matéria-prima para Serrarias.** 2000. 185p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

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

RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para construção civil.** 2002. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de madeiras) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

ROWELL, R. M. Chemical modification of wood: its application to composite products. **FRI Bulletin,** Bogor, n. 153, p. 57-67, 1990.

RYVARDEN, L. Where are all the polypores gone? In: Congresso Brasileiro de Micologia, 5, 2007, Recife. **Resumos**... Recife: SBM, 2007. p. 236-241.

SANTINI, E. J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 125p.

_____; 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.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da Secagem da Madeira de** *Eucalyptus grandis* **(Hill ex Maiden)**. 2002. 70p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

SCANAVACA JR, L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do** *Eucalyptus urophylla* **S. T. Blake e de seu potencial para utilização em serraria**. 2001. 108p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

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

SCHWENK, L. M.; SILVA, C. J. A etnobotânica da Morraria Mimoso no Pantanal de Mato Grosso. In. **Anais** do III Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. Corumbá – MT. p. 1-27, 2000.

SHIMOYAMA, V.R. de S.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **Série Técnica - IPEF Piracicaba**; v.6; n.20; p. 1 – 22 Ago. 1989.

SILVA, B. N. S. **Seleção de fungos apodrecedores de madeira e caracterização de basidiomicetos associados à podridão de tecidos de árvores vivas**. 2014. 92p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras LAVRAS – MG. 2014.

SILVA, J. C.; LOPES, A. G. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* w. HILL ex. Maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 583-587, 2004.

SILVA J. C. et al. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira *de Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta,** v. 34, n. 1, p. 13-22. Jan/Abr 2004.

_____. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 795-799, 2005.

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

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, v. 43, n.2, p. 179 – 184, 2013.

SOBRAL, M. et al. **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil.** São Carlos: RiMA: Novo Ambiente, 2ªed., 2013. 357p.

SOUZA, J. T. et al. Comportamento da flexão dinâmica na madeira de *Patagonula americana* L. e *Ocotea catharinensis* Mez. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 02, p. 228-237, nov. 2013.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, São Paulo. 2012. 768 p.

STAMM, A. J. **Wood and celulose science.** New York. Ronald press. 1964. 549 p.

STANGERLIN, D. M. et al. Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoinensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 70-79, nov. de 2010.

_____. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores.** 2012. 259p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília. 2012.

_____.Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. Acta Amazônica, v. 43, n.4, p.429 – 438, 2013.

STAR COLOR. CIE Lab Color System. Disponível em http://www.starcolor.co.th/1qc.html> Acesso em: 3 dez. 2004.

TEIXEIRA, B. M. R et al. Avaliação radial e longitudinal das propriedades mecânicas e da massa específica básica da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 463-468, dez. 2011.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerado de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural aos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 29-34, 1997.

TOMASELLI, I.; BINDER, J. E. Dificuldades na determinação da dureza Janka e sugestões para melhoramentos na precisão. **Revista Floresta**, v. 12 n. 1, Junho. 1981.

TONIATO, M. T. Z.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Variations in tree community composition and structure in a fragment of tropical semideciduous forest in southeastern Brazil related to different human disturbance histories. **Forest Ecology and Management** v. 198, p. 319-339, 2004.

TRAUTENMÜLLER, J. W. Variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.5, p.817-821, maio, 2014.

TRUGILHO, P. F. et al. Variação dimensional e densidade da madeira em árvore de Eucalyptus. In: encontro nacional em madeiras e em estruturas de madeira, 8., 2002, Uberlândia. **Anais**... São Carlos: IBRAMEM, 2002.

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

VALE, A. T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. O. Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p. 209-217. 1992.

VALÉRIO, A. F. et al. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* muell. Arg.) ao longo do fuste. **Caatinga**, v.21, n.3, p.54-58, 2008.

VIVIAN M. A. et al. Propriedades físico-mecânicas da madeira de canafístula aos 10 anos de idade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.5, p.1097-1102, maio, 2010.

_____. Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* a fungos apodrecedores em ensaios de laboratório. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 175-183, jan.-mar. 2015.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its prevention.** San Diego: Academic Press, 1992. 476p.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. S.; SILVEIRA, T. A. Termorretificação e colorimetria da Madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 85-90. 2014.

## ANEXO A – GRUPOS DE CORES OBTIDAS NO AGRUPAMENTO DE CLUSTER USANDO AS VARIÁVEIS CROMÁTICAS L, a*, b* e h

| GRUPO CLUSTER | COR | INTERVALOS DAS VARIÁVEIS CROMÁTICAS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L | a* | b* | C | h |
| 01 | Amarelo-oliva | 64-64 | 06-06 | 46-46 | 47-47 | 82-82 |
| 02 | Branco | 69-80 | 04-08 | 19-27 | 21-28 | 71-79 |
| 03 | Marrom-escuro | 38-51 | 06-11 | 10-16 | 12-19 | 50-61 |
| 04 | Rosa | 55-68 | 11-27 | 18-27 | 23-30 | 53-64 |
| 05 | Amarelo-claro | 65-76 | 07-11 | 26-37 | 28-38 | 71-77 |
| 06 | Roxo | 36-39 | 12-07 | 03-07 | 12-16 | 14-29 |
| 07 | Preto-avermelhado | 28-35 | 04-08 | 03-06 | 05-10 | 35-44 |
| 08 | Marrom-arroxeado | 29-44 | 08-11 | 08-12 | 11-16 | 34-52 |
| 09 | Oliva | 40-55 | 05-10 | 12-22 | 13-24 | 60-71 |
| 10 | Oliva-claro | 70-73 | 01-04 | 22-26 | 22-27 | 81-87 |
| 11 | Branco-acinzentado | 74-86 | 03-06 | 16-25 | 17-26 | 74-83 |
| 12 | Marrom-escuro | 35-51 | 11-16 | 13-18 | 17-23 | 43-55 |
| 13 | Marrom-oliva | 48-71 | 09-13 | 22-30 | 25-32 | 64-72 |
| 14 | Preto | 26-36 | 01-06 | 02-08 | 03-09 | 49-64 |
| 15 | Vermelho-escuro | 35-38 | 17-21 | 13-15 | 21-26 | 33-38 |
| 16 | Cinza-rosado | 61-76 | 04-08 | 13-20 | 14-21 | 67-76 |
| 17 | Vermelho | 37-52 | 17-24 | 16-23 | 24-31 | 39-52 |
| 18 | Oliva-amarelado | 51-69 | 06-09 | 20-27 | 21-28 | 69-76 |
| 19 | Laranja-amarelado | 53-54 | 24-27 | 34-38 | 42-46 | 54-55 |
| 20 | Amarelo-alaranjado | 49-66 | 12-19 | 31-36 | 33-40 | 61-67 |
| 21 | Marrom-claro | 45-61 | 10-13 | 16-25 | 19-28 | 54-66 |
| 22 | Rosa-acinzentado | 55-71 | 07-11 | 14-22 | 16-25 | 59-68 |
| 23 | Amarelo-amarronzado | 45-61 | 12-19 | 23-30 | 27-34 | 52-65 |
| 24 | Amarelo | 73-76 | 04-07 | 38-42 | 39-42 | 81-84 |
| 25 | Marrom-avermelhado | 39-57 | 13-17 | 18-23 | 23-29 | 50-58 |

Fonte: Adaptação de Camargos; Gonçalez (2001).