

RODRIGO BUSS

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Ochroma pyramidale* (CAV. EX LAM.)
URBAN (pau-de-balsa) E PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS DE BAIXA
DENSIDADE**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dra. Polliana D'Angelo Rios.

Coorientador: Alexsandro Bayestorff da Cunha

**LAGES
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC, com os dados fornecidos pelo autor.

Buss, Rodrigo
Caracterização da madeira de *Ochroma pyramidale* (CAV. EX LAM.) URBAN (pau-de-balsa) e produção de painéis particulados de baixa densidade / Rodrigo Buss. -- 2019.
85 p.

Orientador: Polliana D'Angelo Rios
Coorientador: Alexsandro Bayestorff da Cunha
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2019.

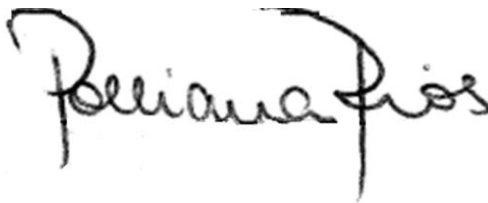
1. Baixa Densidade. 2. Espécie Alternativa. 3. Revestimento. I. Rios, Polliana D'Angelo . II. Bayestorff da Cunha, Alexsandro . III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

RODRIGO BUSS

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Ochroma pyramidale* (CAV. EX LAM.)
URBAN (pau-de-balsa) E PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS DE BAIXA
DENSIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:




Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Polliana D'Angelo Rios
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:



Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes
Universidade Federal de Lavras



Prof. Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 31 de maio de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela benção da vida.

A minha família pelo incentivo, apoio e estímulo para enfrentar as barreiras da vida.

A minha namorada Nayara, que esteve em todos os momentos ao meu lado, sempre me ajudando e incentivando.

A Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC pela oportunidade de aprimorar meus estudos.

A minha orientadora professora Dra. Polliana D'Angelo Rios, pela orientação, por todos os ensinamentos, dicas, oportunidades, paciência e amizade durante esse período.

Ao meu coorientador Dr. Aleksandro Bayerstorff da Cunha por todo o auxílio durante a execução desse trabalho.

A Banca Examinadora, Dr. Rafael Farinassi Mendes e Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo, pela disponibilidade de avaliação deste trabalho.

Aos docentes do PPGEF da UDESC pelo auxílio direto e indireto nesse trabalho.

Aos meus amigos da pós-graduação, em especial ao Leonardo, Luana, Bruno e Ricardo por toda ajuda e pelos momentos de descontração.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa de Tecnologia da Madeira do CAV – UDESC, em especial ao Deyvis, Natália, Ana Maria, Rafaela, Natasha e Maísa por todo auxílio e companheirismo.

Aos motoristas do CAV, Darlan e Márcio que auxiliaram na obtenção do material.

Aos funcionários da Usinagem de madeira pelo auxílio em diversos momentos durante o período de realização desse trabalho.

Ao projeto Balsa-Brasil, pelo fornecimento do material, em especial ao coordenador do projeto Valter Alencar e ao produtor Odair Nogueira.

A empresa Bonet, em especial a Rodrigo Antunes, pelo fornecimento de grande parte dos materiais utilizados no projeto e também os painéis comerciais utilizados na comparação.

A UNIEDU/FUMDES pela concessão da bolsa de estudos.

Muito Obrigado!

RESUMO

BUSS, Rodrigo. **Caracterização da madeira de *Ochroma pyramidale* (CAV. EX LAM.) urban (pau-de-balsa) e produção de painéis particulados de baixa densidade.** 2019. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2019.

Com a necessidade de se encontrar novas fontes de matéria-prima para a produção de painéis de madeira, a espécie *Ochroma pyramidale* (pau-de-balsa) surge como uma espécie alternativa, pois apresenta baixa massa específica. O objetivo do trabalho foi descrever quantitativamente e qualitativamente a anatomia da madeira de *O. pyramidale*, determinar seus componentes químicos e suas propriedades físicas e mecânicas, bem como, produzir e avaliar os painéis particulados de baixa densidade da espécie. Foram obtidas seis árvores de *O. pyramidale* de plantio comercial da região Noroeste de São Paulo, com idades de 6 e 10 anos (três por idade). Para a análise anatômica foi retirado um disco do diâmetro à altura do peito (DAP) de cada árvore e analisado no sentido radial. Para análise mecânica foram retirados corpos de prova da base do torete. Para análises química e física foram retirados discos das seções (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). O restante do material foi processado em partículas para a produção dos painéis. Para as análises anatômicas foram produzidas lâminas permanentes e provisórias que seguiram procedimentos descritivos de acordo com Iawa (1989). Para análise química foi quantificado o teor de extrativos totais, solubilidade da madeira em NaOH, lignina, cinzas e holocelulose. Para as análises físicas e mecânicas da madeira foram avaliadas a densidade, coeficiente de retratibilidade, contração, anisotropia, flexão estática (MOE e MOR), cisalhamento e compressão. Foram produzidos painéis de baixa densidade homogêneos utilizando duas idades distintas de *O. pyramidale* e *Pinus* spp como testemunha, com densidades de 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 g/cm³ divididos em 13 tratamentos. Para o processo de prensagem foram utilizados os parâmetros temperatura de 180 °C, pressão específica de 30 kgf/cm² e tempo de 18 minutos. Nos painéis produzidos foram avaliados o teor de umidade, massa específica, absorção de água e inchamento em espessura após 02 e 24 horas de imersão em água e também as propriedades mecânicas de flexão estática (MOE e MOR) e ligação interna. A madeira de *O. pyramidale* apresentou densidade básica de 0,254 g/cm³ e 0,270 g/cm³ (6 e 10 anos respectivamente). Para análise anatômica das lâminas provisórias, os resultados demonstraram que o comprimento dos vasos e das fibras diminuíram no sentido casca-medula para ambas as idades. Já a largura das fibras e do lúmen foram semelhantes em ambas posições. Os valores das lâminas permanentes apresentaram diferença entre as posições e as diferentes idades para a maioria das avaliações. Com relação a análise química não houve variação significativa para ambas as idades. Para as propriedades físicas e mecânicas não houve diferença estatística entre as idades. Para os painéis, as análises físicas demonstraram aumento do inchamento de acordo com o aumento da densidade dos painéis para 02 e 24h, para a absorção o resultado foi contrário, onde com aumento da densidade ocorreu menor absorção de água em 02 e 24h. Para as análises mecânicas, conforme o aumento da densidade dos painéis, nos distintos tratamentos, ocorreu um aumento em todas as propriedades mecânicas avaliadas. A espécie *O. pyramidale* apresenta potencial como espécie alternativa para a produção de painéis de madeira de baixa densidade, especialmente quando comparada a espécie tradicionalmente utilizada como o *Pinus* spp.

Palavras-chave: Baixa densidade. Não convencional. Isolamento.

ABSTRACT

BUSS, Rodrigo. **Wood Characterization of *Ochroma pyramidale* (CAV. EX LAM.) Urban (balsa tree) and production of low density particleboards.** 2019. 87p. Dissertation (Master in Forest Engineering - Area: Forest Engineering) - State University of Santa Catarina, Agroveterinary Sciences Center, Postgraduate Program in Forest Engineering, Lages, 2019

The necessity to find new sources of raw materials for the production of wood panels leads to the use of *Ochroma pyramidale* specie, which emerges as an alternative due to its low density. The aim of this study was to describe qualitatively and quantitatively the *O. pyramidale* wood anatomy, as well as to determine its chemical compounds, physical and mechanical properties and to produce and evaluate the characteristics of low density particleboards. Three specimens with 6 years and three specimens with 10 years of *O. pyramidale* were obtained from a commercial plantation in Norwest region of São Paulo state, Brazil. For the anatomy evaluation, a disk was taken for each tree in the diameter of breast height (DBH) and analysed in the radial direction, according to Iawa (1989) procedure. For the chemical and physical analysis, the disks were taken in 5 sections (0%, 25%, 50%, 75% and 100%). The remaining material was processed in particles for the panel's production. For the chemical analysis, the amounts of wood extractives, lignin, ashes, holocellulose and wood solubility in NaOH were evaluated. Density, shrinking and contraction ratio, anisotropy, flexural strength (MOR and MOE), shearing and compression resistance were measured for solid wood. Low density particleboards 13 treatments were produced with densities of 0.2; 0.3; 0.4 and 0.5 g/cm³ using both ages of *O. pyramidale* and *Pinus* spp as witness. The pressing parameters of 30 kgf/cm² and 180°C for 18 minutes were used. The panels were evaluated according to its moisture content, density, water absorption, 2h and 24h thickness swelling, MOR, MOE, and internal bond. The *O. pyramidale* presented basic density of 0.254 g/cm³ (6 years) and 0.270 g/cm³ (10 years). The anatomy analysis of temporary slides showed a decreasing in the length of fibers and vessels in the bark-pith direction. The width of fibers and lumen cells were similar in both positions, while permanent slides showed difference between positions and specimens ages for most of evaluations. The chemical analysis did not showed significant variation for both ages. Physical and mechanical properties did not showed statistical difference between ages as well. For the produced panels, the physical analysis showed an increasing in 2h and 24h thickness swelling, with the increasing of panel's density. The water absorption presented an opposite behavior, with a decreasing of water absorption with the increasing of panel density. For the mechanical properties, the increasing of panel's density lead to an increasing of all evaluated characteristics. The *O. pyramidale* specie presents a potential as an alternative to be used in the production of low density particleboards, especially when compared to traditional specie as the *Pinus* spp.

Keywords: Low density. Not conventional. Insulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plantio comercial da espécie de <i>Ochroma pyramidale</i>	16
Figura 2 – Esquema com as divisões dos compostos de madeira.	21
Figura 3 - Cronograma geral do Projeto.....	35
Figura 4 - Coleta do material.	36
Figura 5 - Esquema com o traçamento das árvores	37
Figura 6 – Disco de <i>Ochroma pyramidale</i> (DAP) para Anatomia.....	38
Figura 7 - Traçamento das toras de <i>Ochroma pyramidale</i>	40
Figura 8 –Macroscopia e microscopia (Macerado e cortes anatômicos) da espécie <i>Ochroma pyramidale</i>	44
Figura 9 - Cronograma geral do Trabalho.....	62
Figura 10 - Esquema de traçamento das árvores	63
Figura 11 - Layout para a retirada dos corpos de prova.	66
Figura 12 - Valores de densidades dos painéis.....	70
Figura 13 - Análise de Regressão para a variável razão de compactação	71
Figura 14 - Valores de teor de umidade para diferentes densidade dos painéis.....	72
Figura 15 - Análise de regressão para as variáveis inchamento em espessura em 2 e 24horas.	73
Figura 16 - Análise de regressão das variáveis AA2h e AA24h.	75
Figura 17 - Análise de regressão para a variável ligação interna.	77
Figura 18 - Análise de regressão para as variáveis MOE e MOR.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros anatômicos mensurados	39
Tabela 2 - Normas utilizadas para a realização das análises químicas.	41
Tabela 3 - Valores referentes as fibras e vasos da madeira de <i>Ochroma pyramidale</i>	45
Tabela 4 - Valores referentes aos vasos e pontoações da madeira de <i>Ochroma pyramidale</i> . .	46
Tabela 5 - Valores referentes aos raios da madeira de <i>Ochroma pyramidale</i>	47
Tabela 6 - Valores referentes a determinação química da madeira.	48
Tabela 7 - Valores da densidade básica para a madeira de <i>Ochroma pyramidale</i>	49
Tabela 8 - Valores para as propriedades físicas da madeira de <i>Ochroma pyramidale</i>	50
Tabela 9 - Valores para flexão estática e compressão paralela as fibras da madeira de <i>Ochroma pyramidale</i>	51
Tabela 10 - Valores para cisalhamento e dureza longitudinal, radial e tangencial da madeira de <i>Ochroma pyramidale</i>	51
Tabela 11 - Tratamentos utilizados no projeto.....	64
Tabela 12 - Valores da densidade básica para madeira de <i>Pinus</i> spp.	68
Tabela 13 - Valores de espessura, comprimento e largura das partículas de madeira.	68
Tabela 14 - Valores médios do índice de esbeltez, razão de planicidade e área superficial. ...	69

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
BP – Revestimento aplicado com baixa pressão
BR - *Boil Resistent*
CAV – Centro de Ciências Agroveterinárias
DAP – Diâmetro altura do peito
DB - Densidade básica
FF - Fenol formaldeído
HDF – *High Density Fiberboard*
IE – Índice de esbeltez
LUSC – Herbário Lages da Universidade do Estado de Santa Catarina
LVL – *Laminated Venner Lumber*
MDF – *Medium Density Fiberboard* / Painel de fibras de média densidade.
MDI - Metileno difenil disocianato
MDP – *Medium Density Particleboard* / Painel de media densidade
MF - Melamina formaldeído
MOE – Módulo de elasticidade
MOR – Módulo de ruptura
MPa – Mega Pascal
MR - *Moisture Resistent*
OSB - *Oriented Strand Board* - Painel de fibras orientadas
PVAc - Poliacetato de Vinila
UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina
UF - Ureia formaldeído

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 <i>Ochroma pyramidale</i>	15
2.2 ANATOMIA E QUÍMICA DA MADEIRA.....	17
2.3 FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA	19
2.4 PAINÉIS DE MADEIRA.....	20
2.5 DENSIDADE DA MADEIRA E DO PAINEL	22
2.6 ADESIVOS	23
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DA ESPÉCIE <i>Ochroma pyramidale</i>	30
RESUMO	30
ABSTRACT.....	31
1 INTRODUÇÃO.....	32
2 OBJETIVO.....	34
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 MATÉRIA-PRIMA.....	35
3.2 ANÁLISE ANATÔMICA	37
3.3 ANÁLISE FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA	39
3.4 ANÁLISE QUÍMICA	41
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 DESCRIÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA DA ESPÉCIE <i>O. pyramidale</i>	43

4.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS	48
4.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS	49
4.4 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	50
5 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
CAPÍTULO 3: PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS DE BAIXA DENSIDADE DA MADEIRA DE <i>Ochroma pyramidale</i>.....	57
RESUMO.....	57
ABSTRACT	58
1 INTRODUÇÃO	59
2 OBJETIVO	61
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	61
3 MATERIAL E MÉTODOS	62
3.1 MATÉRIA-PRIMA	62
3.3 PAINÉIS PARTICULADOS.....	63
3.3.1 Plano experimental.....	63
3.3.2 Obtenção e geometria das partículas.....	64
3.3.3 Secagem das partículas	65
3.3.4 Parâmetros utilizados.	65
3.3.5 Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.....	65
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Pinus</i> spp	68
4.2 GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS	68
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS	69
4.3.1 Densidade do painel	69
4.3.2 Razão de compactação	70

4.3.3 Umidade dos painéis	71
4.3.4 Inchamento 2 e 24hrs.....	72
4.3.5 Absorção 2 e 24hrs.....	74
4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	76
4.4.1 Ligação Interna	76
4.4.2 Flexão estática	77
5 CONCLUSÕES	81
6 RECOMENDAÇÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A madeira é um material heterogêneo, que possui vários tipos de células, adaptadas a desempenharem funções específicas. As variações nas composições químicas, físicas e anatômicas da madeira são grandes entre espécies, também ocorrendo dentro da mesma espécie, em função principalmente da idade, fatores genéticos e ambientais. Dentro de uma mesma espécie, ocorrem variações significativas na altura do tronco e na direção da medula até a casca (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

O maior conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é imprescindível para que se possa racionalizar a utilização dessa matéria-prima. As pesquisas a fim de elucidar as propriedades da madeira estão aumentando, porém, ainda há muito a se descobrir, principalmente em relação às novas espécies que estão sendo reflorestadas no Brasil (MORALES, 2005).

Os painéis de madeira particulado são produzidos com partículas de madeira, e com a incorporação de um adesivo sintético e consolidados através de aplicação de calor e pressão. Mundialmente, são empregados como matérias-primas os resíduos industriais de madeira, os resíduos da exploração florestal, as madeiras de qualidade inferiores (não industrializáveis de outra forma), as madeiras provenientes de florestas plantadas. No Brasil, a madeira de florestas plantadas, em especial do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* – constitui a principal fonte de matéria-prima para este tipo de painel (IWAKIRI, 2005; MATTOS et al., 2008).

Dentre os painéis de madeira reconstituída, os painéis de madeira particulado assumem grande importância, pelo fato de não demonstrar grandes exigências quanto a qualidade da matéria prima (TRIANOSKI, 2010). Mesmo que no ano de 2016 as indústrias de painéis tenham demonstrado queda na produção de MDF/HDF de 8,8 e 8,9% respectivamente, os painéis do tipo MDP tiveram um aumento de produção de 8,9%, isso ocorre devido a ampla diversidade de produtos, o segmento produtor de painéis de madeira, dentre eles o de painéis particulados, tem demonstrado elevado dinamismo como reflexo da elevada taxa de crescimento da indústria moveleira, principal consumidora deste tipo de painel (IBÁ 2017; MACEDO; ROQUE, 2011).

É muito importante conhecer a espécie de madeira a ser utilizada na produção dos painéis particulados, visto que a mesma pode exercer influências positivas e negativas no produto final (MALONEY, 1993). Sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de matéria-

prima alternativa pode contribuir para melhorar a qualidade e as propriedades dos painéis de madeira particulados, devido às diferentes características inerentes à espécie. Pode ainda, significar um incentivo a introdução e ampliação destas espécies em grandes áreas de florestas plantadas, sempre que, assegurada a qualidade e os requisitos do produto em questão (TRIANOSKI, 2010).

A espécie *Ochroma pyramidale*, pertence à família Malvaceae, é popularmente chamada de pau-de-balsa, pau-de-jangada ou balsa, sendo, anteriormente denominada de *Ochroma lagopus* Swartz. A área de ocorrência vai do sul do México à Bolívia, Peru e Amazonas, frequente na sua metade ocidental. Ocorre em matas primárias, secundárias e às margens dos rios e igapós (LOUREIRO, 1979; RIZZINI, 1977; RIZZINI, 1978).

A espécie *O. pyramidale* vem se destacando em plantios comerciais na Região Centro-Oeste e Norte do Brasil, devido ao seu rápido crescimento em condições de clima e solo favoráveis. Dessa forma, essas regiões teriam mais uma opção de espécie florestal de rápido crescimento para abastecer o segmento de mercado.

Ainda são escassos os estudos de caracterização e produção de painéis da madeira da espécie de *O. pyramidale*. Com a necessidade da utilização de novas fontes de matéria-prima para complemento ou substituição de espécies usualmente utilizadas, o *O. pyramidale* surge como uma espécie alternativa que apresenta baixa massa específica, que são as mais apropriadas para a produção de painéis de madeira.

Esta dissertação é apresentada em três capítulos:

1º Capítulo: Revisão de Literatura

2º Capítulo: Artigo Científico - “Caracterização da madeira da espécie *Ochroma pyramidale*”.

3º Capítulo: Artigo Científico - “Produção de painéis particulados de baixa densidade da madeira de *Ochroma pyramidale*”.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Ochroma pyramidale*

A espécie *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb., anteriormente denominada de *Ochroma lagopus* Swartz, é uma planta arbórea pertencente à família Malvaceae, e é conhecida popularmente por pau-de-balsa, pau-de-jangada ou simplesmente balsa (RIZZINI, 1977). É amplamente distribuída na zona neotropical, ocorrendo desde o Sul do México, Bolívia, Peru e na Amazônia, frequentemente na sua metade ocidental (LEÃO et al., 2008). É uma espécie pioneira de ótima adaptabilidade, o clima ideal para seu cultivo é o tropical úmido, com estações seca e chuvosa bem definidas (CARVALHO, 2010). Tem um bom desenvolvimento em solo arenoso com fina camada orgânica, como nas margens inundáveis de rios e igapós, mas prefere solos férteis, úmidos, bem drenados, argilosos, neutros ou alcalinos. Não tolera solos de alta salinidade (LOUREIRO, 1979).

A árvore tem vida curta, cresce rápido e pode chegar ao dossel da floresta, com 20 a 25 m de altura e até 1,2 m de diâmetro, a copa é aberta e ampla e pode alcançar até 18 m de diâmetro. As folhas são simples, alternas e dispostas em espiral, apresentam pecíolo longo e 5 a 7 nervuras principais. O ápice da folha é arredondado ou subagudo e a base cordiforme. As flores são solitárias, vistosas, aromáticas, com 10-15 cm de largura e 7-9 cm de diâmetro e apoiadas por pedúnculos largos e grossos. O fruto é uma cápsula loculicida quase cilíndrica, lenhosa, de 10 a 25 cm de comprimento e 2 a 3 cm, excepcionalmente, 5 cm de diâmetro, de cor marrom-avermelhada a ferrugínea e pubescente (LEÃO et al., 2008).

Apresenta tronco reto, cilíndrico ou quase cônico, desprovido de acúleos e pode apresentar sapopemas (Figura 1). O fuste não apresenta ramos, atinge no máximo 15 m de comprimento e tem ramificação dicotômica. A copa é aberta com poucos galhos grossos e estendidos (CARVALHO, 2010).

Figura 1 - Plantio comercial da espécie de *Ochroma pyramidale*.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A madeira de *O. pyramidale* é geralmente muito leve, elástica e macia, de fácil trabalhabilidade, conseqüentemente, possui baixa densidade, mas uma elevada resistência mecânica. A densidade é variável de acordo com a idade e o habitat da árvore. A espécie pode apresentar uma grande variação de densidade, de $0,060 \text{ g/cm}^3$ nos exemplares mais leves atingindo até $0,350 \text{ g/cm}^3$ nos mais densos (SEDER-MT, 2011; LÊDO, 1977; LOUREIRO, 1979; RIZZINI, 1977).

De acordo com as suas características, sua madeira é ideal para construção naval no revestimento de iates, e nas construções aérea e civil no isolante térmico e acústico, construção de maquetes, caixas leves, artesanato, pranchas de windsurfe, aerodelismo, revestimento interno para aeronaves, produção de carvão para a indústria de pólvora e pode substituir a cortiça, em seus diversos usos (LOUREIRO, 1979; LORENZI, 1992; PAULA; ALVES 2010). Ainda, apresenta potencial para utilização em construções de peças aeronáuticas e pás de hélices utilizadas para obtenção de energia eólica (LORENZI, 2002). Também apresenta potencial para a fabricação de papel e celulose; suas fibras são longas e produzem um tipo de celulose de alta qualidade com um grau de rendimento entre 45 a 50%. A celulose crua é, além disso, fácil de branquear (LAMPRECHT, 1990).

A madeira de *O. pyramidale* se enquadra dentro das Pneumatophoras, isto é, são madeiras que acumulam muito ar em seu interior, em decorrência da riqueza de parênquima axial e radial, ou de fibras com parede muito fina, apresentando inúmeros espaços vazios. Esses espaços cheios de ar formam uma barreira física, podendo ser um excelente isolante térmico e acústico (PAULA; ALVES, 2010).

O reflorestamento de grandes áreas torna-se cada dia mais necessário, devido à baixa reposição, alta demanda por produtos e subprodutos, e da extinção de grandes populações de espécies florestais. A espécie *O. pyramidale* possui importância econômica e social, e é utilizada em plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente, graças ao seu rápido crescimento e tolerância à luminosidade direta (LORENZI, 1992).

Seu menor ciclo de rotação comparada a outras espécies florestais beneficia pequenos produtores rurais, tornando seu cultivo mais rentável, porém, é necessário ser conduzido novas pesquisas referentes à sua silvicultura e formas de uso da sua madeira. As diversas utilizações da madeira de *O. pyramidale* coincidem com a necessidade de se obter um material com baixa densidade, sendo necessário avaliar as propriedades das árvores provenientes de plantios homogêneos de diferentes idades. No entanto, pouco se conhece sobre o manejo de povoamentos homogêneos, principalmente, devido à falta de estudos (REIS; PALUDZYSZYN FILHO, 2011).

2.2 ANATOMIA E QUÍMICA DA MADEIRA

O estudo anatômico da madeira é de grande valor para a identificação de espécies florestais, especialmente quando os indivíduos são desprovidos de órgãos reprodutivos,

possibilitando, assim, que espécimes estéreis até o nível da família ou gênero sejam identificados. Deste modo, o trabalho botânico é facilitado e pode ser importante na confirmação de adulteração, substituições e fraudes. A anatomia da madeira é ainda imprescindível para a identificação de fósseis paleobotânicos (MATCALF & CHALK, 1983).

Segundo Lewin & Golstein (1991), a madeira é um material anisotrópico, ou seja, não apresenta as mesmas propriedades em todas as direções. Sendo assim, diferentes aspectos da estrutura celular são revelados em direções distintas, exigindo o estudo da anatomia da madeira em três diferentes planos. Para os estudos anatômicos adotam os seguintes planos convencionais de corte de acordo com Iawa Comittivee (1989):

- Transversal (X): perpendicular ao eixo axial da árvore;
- Longitudinal Radial (R): na direção axial, paralelo ao eixo maior do tronco e paralelo à direção dos raios lenhosos, e ainda perpendicular aos anéis de crescimento;
- Longitudinal Tangencial (T): na direção axial, paralelo ao eixo maior do tronco e em ângulo reto ou perpendicular aos raios lenhosos e ainda tangencial aos anéis de crescimento.

O adesivo pode apresentar comportamento diferente quando aplicado em diferentes tipos de madeiras. Dentre as principais características anatômicas da madeira que influenciam a colagem, podem-se citar: os anéis de crescimento (lenho inicial e tardio), percentagem de cerne e alborno, lenhos de reação, grã, porosidade, fibra, parênquima, raios e tiloses (MARRA, 1992).

Em relação a composição química da madeira, pode-se dizer que é de característica complexa. A madeira é formada por um complexo químico, de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, e estes estão distribuídos desuniformemente, como resultado da estrutura anatômica (BROWNING, 1963).

A madeira é constituída, aproximadamente, de 50% de carbono, 6% de hidrogênio, 44% de oxigênio e 1% de nitrogênio. Esta composição mantém-se mais ou menos constante, independentemente da espécie, de diferenças genéticas ou da idade. Além desses elementos, encontram-se pequenas quantidades de cálcio, potássio, magnésio e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira. Do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, deve-se fazer distinção entre os componentes macromoleculares constituintes da parede celular, que são celulose, hemicelulose e lignina (KLOCK et al., 2012).

A influência da anatomia da madeira no processo de colagem está relacionada à sua estrutura, no que se refere às diferenças de dimensões dos elementos celulares, tamanho, disposição e frequência das cavidades celulares que, por sua vez, estão relacionadas com a

porosidade e permeabilidade da madeira, ou seja, com características que influenciam na mobilidade e penetrabilidade do adesivo (MARRA, 1992; PIZZI, 1994).

Segundo Kollmann, Kenzi e Stamm (1975), as propriedades da madeira possuem um nítido efeito nas ligas adesivas e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades do que as coníferas. Matos (1988) complementou que as espécies também exercem influência sobre os parâmetros de prensagem, onde as características anatômicas particulares estão presentes nas partículas submetidas a condição de compressão, o que influi na resistência oferecida à compactação sob as condições de pressão e temperatura.

O elevado teor de extrativos pode produzir uma linha de cola de baixo desempenho, com pouca ligação entre as partículas. Entretanto, um elevado teor de extrativos pode também proporcionar uma maior resistência à umidade (CLOUTIER, 1998; MOSLEMI, 1974; KOLLMANN; KENZI; STAMM, 1975). Jankowsky (1988) já relatava tal fato ao concluir que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem.

Em seu trabalho com determinação da composição química Fiorelli et al. (2014), relata que a lignina se solubiliza no processo de aquecimento, podendo assim ser um aglomerante natural para as partículas na etapa da prensagem a quente do painel.

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna. Estas diferenças estruturais podem ser resumidas no arranjo dos tecidos, na ocorrência dos elementos anatômicos em diferentes proporções, nas dimensões dos elementos celulares e na localização dos componentes ao longo do fuste (TSOUMIS, 1991). O conhecimento dos diferentes elementos celulares e o arranjo formado entre eles, nos diferentes planos anatômicos da madeira, são fundamentais na utilização tecnológica da madeira (BARRICHELO; BRITO, 1979).

2.3 FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA

A avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira é necessária para aumentar o conhecimento a respeito do seu potencial de utilização. Diferenças entre as propriedades da madeira ocorrem entre espécies assim como, entre indivíduos de mesma espécie e também entre diferentes regiões de um mesmo indivíduo (BURGER; RICHTER, 1991).

A densidade é uma variável de grande importância para a correta classificação e destinação da madeira que se está utilizando. Segundo Mori et al. (2003) a retratibilidade, varia entre espécies e depende muito do modo com que é o processo de secagem, podendo

inchar ou contrair de acordo com a umidade relativa do meio em que se encontra. Os mesmos autores ainda citam que, quanto menores as contrações, melhores serão as suas propriedades. Essa propriedade deve ser considerada quando se recomenda madeira para usos que exijam boa estabilidade dimensional, evitando o aparecimento de fendas e empenos.

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas (STANGERLIN *et al.*, 2008). O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, representando a deformação do material quando submetido a uma carga aplicada (SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2004).

2.4 PAINÉIS DE MADEIRA

De acordo com Ferreira (2003), os painéis de madeira surgiram da necessidade de se amenizar as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo, mantendo as propriedades isolantes térmicas e acústicas. Além disso, os painéis têm sua aplicação otimizada pelo aumento da sua superfície útil. O desenvolvimento tecnológico no setor de painéis à base de madeira tem proporcionado o aparecimento de novos produtos que vêm atender a demandas cada vez mais específicas. O painel de madeira pode apresentar uma solução funcional, construtiva e econômica, competindo com sistemas de vedação tradicionais.

Os painéis podem ser utilizados tanto para vedação externa como para divisória no interior das edificações. A madeira pode se adaptar facilmente a determinadas exigências e possibilidades. Também possui menor peso, facilitando o transporte e a trabalhabilidade da obra (SUENAGA; BITTENCOURT; TERNI, 2002).

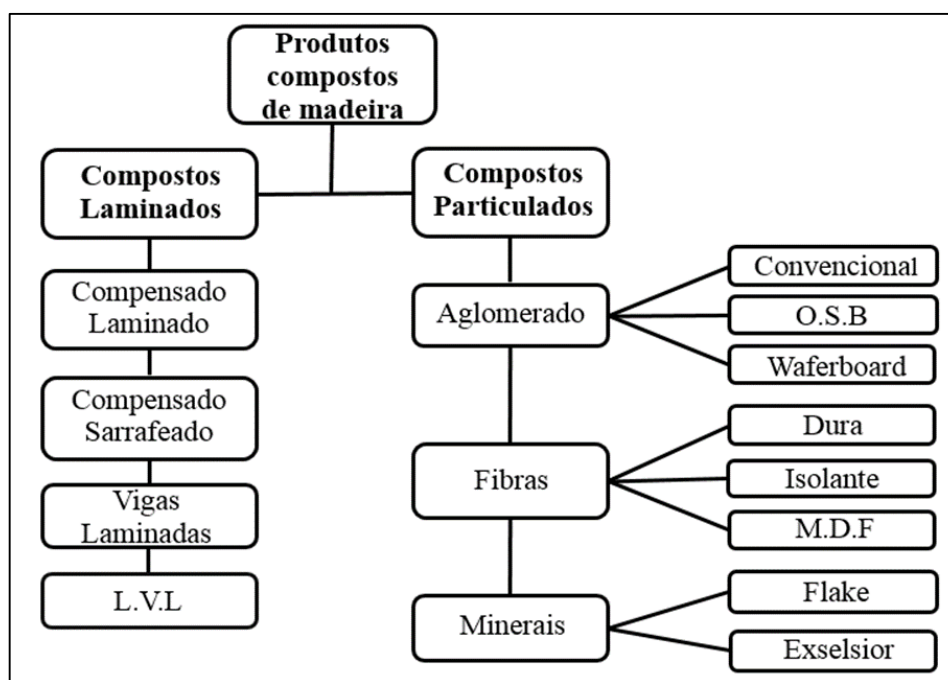
Os painéis processados mecanicamente são formados por camadas de lâminas ou sarrafos e representados principalmente pelos compensados, cuja utilização segue a aplicação dos demais materiais, servindo tanto à indústria de móveis quanto à construção civil. No Brasil, a indústria utiliza no processo produtivo, matéria-prima de florestas plantadas (sobretudo de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. situadas na Região Sul) e nativas (principalmente na Região Norte) (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010).

Os produtos de madeira reconstituída podem ser classificados em 2 grupos: Os compostos laminados e compostos particulados. Os compostos laminados utilizam processos

de colagem de lâminas contínuas em produtos como compensados e painéis de lâminas paralelas (LVL). Os compostos particulados utilizam pequenos elementos de madeira (partículas / fibras) e se caracterizam pela estrutura descontínua e densificação do material, tais como painéis de madeira particulado, painéis de fibras e painéis cimento-madeira (BODIG; JAYNE, 1982).

Iwakiri (2005) descreve que os painéis de madeira são produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de ligação adesiva. Esses produtos são conhecidos também como produtos reconstituídos de madeira e suas propriedades são diferentes do material original. Uma ilustração das subdivisões dos tipos de painéis pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Esquema com as divisões dos compostos de madeira.



Fonte: IWAKIRI, (2005).

Os painéis reconstituídos *Medium Density Particleboard* (MDP), são o tipo de painel mais consumido no mundo, utilizado principalmente pela indústria moveleira em diversos itens (mesas, armários, miolos de portas, prateleiras, estantes e divisórias) de uso interno (BIAZUS et al., 2010).

Iwakiri (1989) já citava que a produção e utilização de produtos particulados havia aumentado gradativamente, fato que é observado até os dias atuais, principalmente, devido a

redução da madeira em elementos menores e a possibilidade de arranjo e reconstituição em novos tipos de produtos, necessitando de um melhor aproveitamento da madeira e seus resíduos florestais dentro das indústrias (IBÁ 2017).

2.5 DENSIDADE DA MADEIRA E DO PAINEL

A densidade da madeira está relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, sendo um dos parâmetros mais importantes entre as propriedades físicas da madeira, pois apresenta relação com as demais propriedades (SHIMOYAMA, 1990).

A densidade da madeira é considerada a variável da espécie de maior importância na produção de painéis de madeira particulada. Por ser um grande indicador de qualidade, a densidade da madeira apresenta elevada importância para indústrias, principalmente para as de celulose e papel e de painéis reconstituídos. Uma maior densidade proporciona aos painéis maior resistência mecânica, em contrapartida, painéis mais densificados demonstram, geralmente, menor estabilidade dimensional, o que pode estar relacionado às liberações das tensões de compressão. A qualidade do painel particulado depende das interações entre diversas variáveis, como a espécie, a densidade, o tipo e quantidade de resina, a geometria de partículas, a umidade do colchão e o ciclo de prensagem, entre outras (KELLY, 1977; TSOUMIS, 1991).

A razão de compactação é definida como a relação entre a massa específica do painel e a massa específica da madeira, sendo um parâmetro de grande importância na estabilidade dimensional e na resistência mecânica do painel particulado. Painéis com maior razão de compactação terão propriedades mecânicas superiores, mas com menor estabilidade dimensional. Essa relação pode ser modificada utilizando-se espécies de menor densidade para a mesma densidade do painel, ou, para a mesma espécie, aumentando-se a densidade do painel (MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974).

Para a produção de painéis reconstituídos as espécies mais recomendadas são as que apresentam densidade de até $0,550 \text{ g/cm}^3$ (MALONEY, 1993). De acordo com Kelly (1977) a utilização de madeiras de baixa densidade resulta em alta razão de compactação dos painéis e maior área de contato entre as partículas, resultando assim, em melhores propriedades de flexão estática e ligação interna. Segundo Hillig (2000), as madeiras de baixa densidade produzem painéis mais resistentes para uma mesma densidade de painel. Já Haselein (1989)

relata que geralmente painéis produzidos com madeira de menor densidade apresentam maiores vantagens.

2.6 ADESIVOS

Define-se adesivo como um material com propriedades aderentes, ou seja, capaz de manter outros materiais unidos em sua superfície, formando de acordo com suas características e aplicação adequada, uma ligação forte e duradoura (IWAKIRI, 2005).

Ainda, segundo o mesmo autor, a utilização de adesivos, aumentou principalmente, com o surgimento de máquinas de beneficiamento de madeira e posteriormente, para a colagem de lâminas na produção de painéis de madeira reconstituídas. A partir deste período, houve um progresso gradativo com o desenvolvimento da química de materiais para a produção e aperfeiçoamento de novos adesivos para madeira.

O adesivo é um componente que pode causar implicações técnicas e econômicas significativas na utilização de produtos à base de madeira, podendo representar mais de 30% do preço total na produção de painéis. Isso se deve ao fato de que quase todas as matérias-primas para fabricação de adesivos são feitas à base de produtos derivados do petróleo. (CARNEIRO et al., 2004; MENDES, 2000; PIZZI, 1994).

O primeiro adesivo sintético desenvolvido foi o fenol formaldeído (FF), que surgiu em 1929, seguido da ureia formaldeído (UF) em 1931, melamina formaldeído (MF) no final dos anos 30 e a resorcina formaldeído em 1943 (TSOUMIS, 1991).

Segundo Vick (1999), isocianeto ou metileno difenil isocianato (MDI) é um adesivo de uso mais recente (comparada com a fenol formaldeído e ureia formaldeído) que ganha parte do mercado em função do interesse público sobre problemas de emissões de formaldeído livre. O MDI é usado na maioria das fábricas de “*Oriented Strand Board*” (OSB). É um adesivo muito eficiente e apresenta alta performance em painéis de partículas estruturais. Uma desvantagem se refere à habilidade de aderir a superfícies metálicas durante a prensagem. O adesivo (MDI) Metileno difenil isocianato tem seu custo mais elevado do que os adesivos a base de formaldeído.

Conforme Iwakiri (2005), a melamina formaldeído (MF), é um adesivo classificado como de uso intermediário entre a uréia formaldeído e fenol formaldeído (MR- *Moisture Resistent*, BR – *Boil Resistent*). Para aplicações que requerem alta resistência à umidade, como em usos estruturais, os adesivos fenol formaldeído e melamina formaldeído são as mais indicadas (MARRA, 1992).

Segundo mesmo autor o adesivo apresenta coloração branca leitosa, com a vantagem de ter maior resistência a umidade em relação a UF e cura mais rápida em relação ao adesivo FF. Todavia, o seu custo é de 3 a 4 vezes maior que a UF, na proporção de até 40:60. Esta forma de utilização está disponível no mercado com denominação de melamina uréia formaldeído.

De acordo com Vick (1999) “bio-base” é um adesivo biodegradável à base de soja natural. Analistas da indústria afirmam que resinas naturais que usam polímeros de soja serão competitivas com adesivos sintéticos.

De acordo com Marra (1992), o adesivo uréia formaldeído apresenta as seguintes vantagens: fácil utilização, baixo custo, rápida reação em prensa quente e boa qualidade na produção de painéis para ambientes internos. Devido a estas características o adesivo ureia-formaldeído é o adesivo mais utilizado no mundo, principalmente no segmento de painéis de madeira particulado, sendo utilizado em aproximadamente 90% da produção (BARROS FILHO, 2009; ROFFAEL; SCHNEIDER, 1983).

A resina ureia formaldeído pode ser comercializada na forma de pó seco ou na forma líquida, podendo ser misturada a outras resinas, como por exemplo, a melamina formaldeído. Na forma seca (em pó), extensores, catalisadores ou endurecedores também podem ser adicionados à resina uréia formaldeído, desempenhando a função de reativar a pré-condensação e aumentar a velocidade de polimerização e cura da resina (VICK, 1987).

A parafina é usualmente adicionada aos painéis de partículas de madeira aglomerada, produzidas sem a incorporação de polímeros, a fim de proporcionar melhora na resistência do painel acabado quanto à absorção de água na forma líquida (SANTOS et al., 2011). Ainda, utiliza-se emulsão de parafina para reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis (VALARELLI et al., 2013).

Em geral adiciona-se ao painel 1% de emulsão de parafina, com base na massa seca (MATOS, 1988; BATISTA *et al.*, 2007; GOUVEIA; VITAL; SANTANA, 2003). De acordo com Craighead (1991) em seu trabalho de extensiva revisão apresentou que pouca vantagem é obtida pela adição de mais de 0,75%, de parafina baseada no peso seco das partículas.

REFERÊNCIAS

- BARRICHELO, L.E.G; BRITO, J.O. Variabilidade radial da madeira de *Pinus caribaea* var. hondurensis. **Instituto de Pesquisa e Estudo Florestal**, n. 18, p. 81-102, 1979.
- BARROS FILHO, R.M. Painéis aglomerado a base de bagaço de cana- de – açúcar e resinas uréia – formaldeído e melamina formaldeído. Ouro Preto: **REDEMAT**, 2009. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2009.
- BATISTA, D. C. et al. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* f. Muell. **CERNE**, Lavras, v. 13, n. 2, 2007. p.178-187.
- BLAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Panorama do mercado: Painéis de madeira**. 2010.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites: characteristics of wood composites**. New York. Van Nostrand Reinhold, 1982.
- BROWNING, B.L. **The Chemistry of wood**. New York, John Wiley & Sons, 1963. 689p.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel S.A., 1991. 154p.
- CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: **Embrapa Florestas**, 2010. 644 p. (Coleção espécies arbóreas brasileiras).
- CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw material, manufacturing process, LU, ZIJIN; HEGEMANN, W. Anaerobic toxicity & biodegradation of formaldehyde in batch cultures. **Water Research**, V 32, pp 209-215, 1998.
- CRAIGHEAD, P.W.; Waxes and water-soak test for Wood panels. Proceedings, In:International Particleboard Composite Materials Symposium, 25th **Washington State University**, Proceedings, 1991. p. 181-204.
- FERREIRA, Oswaldo Poffo (Coord.). Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, 2003.
- FIORELLI, J. ET AL. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, Dordrecht, v. 21, p. 3269-3277, 2014.
- GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A.E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e de três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB, **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.365-370, 2003.

HASELEIN, C. R. Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill exMaiden) e embaúba (*Cecropia* sp.). 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) -**Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 1989.

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – **Universidade Federal de Santa Maria**, 2000.

IWAKIRI, S. Painéis de Madeira Reconstituída. Curitiba: **FUPEF**, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S. A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus. 1989. 129p. 1989. Tese de Doutorado. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – **Universidade Federal do Paraná**, Curitiba.

JANKOWSKY, I. P. Colagem de madeiras. Piracicaba: **ESALQ**, 1988. 45 p.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. v.10, p. 66, 1977.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A.; Principles of wood science and technology II. **Wood based materials**, 703p. New York, USA, 1975.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado, Rossdorf: Verlges, 1990. 343 p.

LEÃO, N. V.M., FREITAS, A.D.D; CARRERA, R.H.A.. Pau-de-balsa *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lamb.) Urban. **Rede de sementes da Amazônia**. Informativo técnico. n.19, 2008. Disponível em <www.inpa.gov.br>. Acesso em 27 janeiro de 2019.

LÊDO, A.A.M. Estudo da causa da dormência em sementes de guapuruvu (*Schizolobium parahybum* (Vell.) Blake) e orelha-de-negro (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.) e métodos para sua quebra. Dissertação. Viçosa: **UFV**, 1977. 57p.

LEWIN, M.; GOLDSTEIN, IS. **Wood structure and composition**. New York: M. Dekker; 1991. 488 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F; ALENCAR, J.C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA. 1979.

MACEDO, A. R. P., ROQUE, C. A. L. Painéis de Madeira. **BNDES**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 02 fevereiro de 2019.

MATTOS, R.L.G., GONÇALVES, R.M., CHAGAS, F.B., 2008. Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas. **BNDS Setorial** 27: 121-156.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681 p.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. New York, Van Nostrand Reinhold 1992, 453 p.

MATCALF, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford: Clarendon Press, v.1, p.349-358, 1983.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MENDES, L.M.; ABUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. Perspectivas do processo de produção de painéis OSB. In: EBRAMEM, 7, 2000, São Carlos. **Anais**. São Carlos: [s.n.], 2000.

MORALES, E. A. M. (2005). **Determinação do módulo de elasticidade da madeira: proposta para simplificação de procedimentos metodológicos**. São Carlos. 111 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: vol I: materials**. London: Southern University Press, 1974. 244 p.

MORI, F.A. et al. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.3, p.396-400, 2003.

PIZZI, A. Advanced wood adhesives technology. Nova York: M. Dekker, 1994. 285 p. properties, and uses. In: **Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira**.

REIS, C. A. F.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Estado da arte de plantios com espécies de interesse para o Mato Grosso. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2011. 63 p. (Série Documentos). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br> . Acesso em: 24 janeiro 2019.

Revista da Madeira, (2006) MDP – Nova tendência na fabricação de chapas. Ano 16, N. 100, Disponível em: <http://www.remade.com.br> Acesso em 15 janeiro 2019.

RIZZINI, C.T. **Árvores e Madeiras do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. Rio de Janeiro, Ed. Edgar Blücher. 1978.

ROFFAEL, E.; SCHNEIDER, A. **Untersuchungen über den Einflub von Kochsalz als Bindemittelzusatz auf Eigenschaften von Spanplatten.** Holz-Zentralblatt, Leinfelden, v. 109, n. 103, p. 1414-1415, 1983.

SANTOS, R. C. et al. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de pet. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p.149-158, 2011.

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

SEDER-MT. **Diretrizes técnicas para o cultivo de pau de balsa no estado de Mato Grosso.** Secretaria de Estado de Desenvolvimento Rural do Estado de Mato Grosso. Cuiabá, MT. p. 20. 2011.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 1990.

STANGERLIN, D. M; MELO, R. R.; DOMINGUES, J. M. X. Determinação da resistência ao impacto para as madeiras de *Eucalyptus dunnii*, *Corymbia citriodora* e *Pouteria pachycarpa*. In: Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira. **Anais...**, 2008, Londrina.

SUENAGA, F.; BITTENCOURT, R.; TERNI, A. Vedações: estudo de duas soluções para habitação econômica em madeira. In: **Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira**, 8, 2002, Uberlândia. Disponível em: <www.remade.com.br>. Acesso em: 5 janeiro 2019.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira Aglomerada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2010. 262p.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. (1996). Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras- MG, p.1-4.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization.** New York, 1991. 494 p.

VALARELLI, I.D et al. **Avaliação do desempenho de painéis de partículas aglomeradas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.** Em: LAHR, Francisco Antonio Rocco; CHRISTOFORO, André Luis (Org.). **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos.** 1 ed. São Carlos. : EESC - USP. 2013. v. 1, p. 179-217.

VICK, C. B. Adhesive Bonding of Wood Materials. Forest Products Laboratory. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. **Department of Agriculture**, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. 1999.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. In: Wood Handbook: wood as an engineering material. Agric. Handb.72. Washington, DC: United States **Department of Agriculture**; rev. 1987.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DA ESPÉCIE *Ochroma pyramidale*

RESUMO

A espécie *O. pyramidale* (pau-de-balsa) vem sendo plantada comercialmente principalmente nas regiões Centro-oeste e Norte do país. Essa espécie surge como uma alternativa para suprir o mercado madeireiro, para isto, é de suma importância o estudo das características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas dessa madeira. O objetivo do trabalho foi descrever quantitativamente e qualitativamente a anatomia da madeira de *O. pyramidale*, determinar seus componentes químicos e suas propriedades físicas e mecânicas. Para isso, foram obtidas seis árvores de *O. pyramidale* de plantio comercial da região noroeste de São Paulo, com idades de 6 e 10 anos (três por idade). Para a análise anatômica foi retirado um disco do diâmetro à altura do peito (DAP) de cada árvore e analisado no sentido radial, para a análise física e mecânica foi retirado um torete da base de cada árvore e para análise química e densidade básica foram retirados discos das seções (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Para as análises anatômicas foram produzidas lâminas permanentes e provisórias que seguiram procedimentos descritivos de acordo com Iawa (1989). Na análise física e mecânica foram avaliados a densidade, contração, anisotropia, retratibilidade, cisalhamento, flexão estática (MOE e MOR), compressão e dureza. Para análise química foi quantificado o teor de extrativos totais, solubilidade da madeira em NaOH, lignina, cinzas e holocelulose. Como resultados a madeira de *O. pyramidale* apresentou densidade de 0,254 e 0,270 g/cm³ (6 e 10 anos respectivamente). Para análise anatômica das lâminas provisórias, demonstraram que o comprimento dos vasos e das fibras diminuíram no sentido casca-medula para ambas as idades. Já a largura das fibras e do lúmen foram semelhantes em ambas as posições. Os valores das lâminas permanentes apresentaram diferença entre as posições e as diferentes idades para a maioria das avaliações. Com relação a análise química não houve variação significativa para ambas as idades. Para as propriedades físicas e mecânicas não houve diferença estatística entre as idades.

Palavras-chave: Anatomia. Física. Química. Mecânica.

ABSTRACT

The *O. pyramidale* specie is being commercially planted in the Midwest and North of Brazil. This specie emerges as an alternative to supply the wood market and brings the necessity of a better knowledge of its anatomy, chemical, physical and mechanical characteristics. The aim of this study was to describe quantitatively and qualitatively the anatomy of *O. pyramidale* wood and determine its chemical compounds, physical and mechanical properties. Thus, three 6 years old trees and three 10 years old trees were obtained from a commercial plantation in Northwest region of São Paulo state in Brazil. The wood anatomy was analysed in the radial direction of disks taken in the diameter breast height (DBH) of each specimen. Physical and mechanical properties were measured from a log of the base of each specimen. Chemical and basic density was measured in disks from 0%, 25%, 50%, 75% and 100%. The wood anatomy was measured in permanent and temporary slides, according to Iawa (1989) procedure. Physical and mechanical properties of density, contraction, anisotropy, shearing, shrinkage, flexure strength (MOR and MOE), compression and hardness were also evaluated. For the chemical analysis, the amounts of wood extractives, lignin, ashes, holocellulose and wood solubility in NaOH were measured. As results, the *O. pyramidale* presented a basic density of 0.254 g/cm³ (6 years) and 0.270 g/cm³ (10 years). The anatomy analysis of temporary slides showed a decreasing in the length of fibers and vessels in the bark-pith direction for both ages, while the width of fibers and lumen cells were similar in both positions. Permanent slides showed difference between positions and specimens ages for most of evaluations. The chemical analysis did not showed a significant variation for both ages.

Keywords: Anatomy. Physical. Chemical. Mechanical.

1 INTRODUÇÃO

O estudo anatômico da madeira é de grande valor para a identificação de espécies florestais, sendo aplicado em diferentes células que constituem o lenho, também chamado xilema secundário. O conhecimento da organização e as funções dos conjuntos de células possibilitam identificar espécies, e entender o comportamento da madeira permitindo, assim, o uso adequado desse material. (BURGER; RICHTER, 1991; MATCALF & CHALK, 1983).

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna. Estas diferenças estruturais podem ser resumidas no arranjo dos tecidos, na ocorrência dos elementos anatômicos em diferentes proporções, nas dimensões dos elementos celulares e na localização dos componentes ao longo do fuste (TSOUMIS, 1991).

Segundo Lewin & Golstein (1991), a madeira é um material anisotrópico, ou seja, não apresenta as mesmas propriedades em todas as direções. Sendo assim, diferentes aspectos da estrutura celular são revelados em direções distintas. Em relação a composição química da madeira, pode-se dizer que é de característica complexa. Do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, deve-se fazer distinção entre os componentes macromoleculares constituintes da parede celular, que são celulose, hemicelulose e lignina, servindo para determinar a melhor utilização da madeira (BROWNING, 1963; KLOCK et al., 2012).

A avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira é necessário para aumentar o conhecimento a respeito do seu potencial de utilização, tais como: estabilidade e resistência de uma determinada madeira para as mais diversas aplicações. Diferenças entre as propriedades da madeira ocorrem entre espécies assim como, entre indivíduos de mesma espécie, em diferentes idades e também entre diferentes regiões de um mesmo indivíduo (BURGER; RICHTER, 1991).

O estudo das características da madeira é essencial para seu uso eficiente. Ter o conhecimento destas propriedades possibilita um uso mais racional da madeira (DIAS; LAHR, 2004). O maior conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é imprescindível para que se possa racionalizar a utilização dessa matéria-prima. As pesquisas a fim de elucidar as propriedades da madeira estão aumentando, porém, ainda há muito a se descobrir, principalmente em relação às novas espécies que estão sendo reflorestadas no Brasil (MORALES, 2005). A complexidade e a variabilidade estrutural do lenho das árvores refletem na variação das suas propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas (BURGER; RICHTER, 1991).

A espécie *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb., anteriormente denominada de *Ochroma lagopus* Swartz, é uma planta arbórea pertencente à família Malvaceae, e é conhecida popularmente por pau-de-balsa, pau-de-jangada ou simplesmente balsa (RIZZINI, 1977).

A madeira de *O. pyramidale* se enquadra dentro das Pneumatophoras, isto é, são madeiras que acumulam muito ar em seu interior, em decorrência da riqueza de parênquima axial e radial, ou de fibras com parede muito fina, apresentando inúmeros espaços vazios. Esses espaços cheios de ar formam uma barreira física, podendo ser um excelente isolante térmico e acústico (PAULA; ALVES, 2010).

A madeira de *O. pyramidale* apresenta baixa densidade, boa resistência as tensões e elevada taxa de crescimento. É considerada a madeira comercial mais leve e de crescimento mais rápido em todo o mundo, já tendo sua utilização consagrada nos ramos náutico e aeronáutico, por ser macia e de fácil trabalhabilidade (LORENZI, 1992; LOUREIRO, SILVA e ALENCAR, 1979; FERNÁNDEZ, 2010). Ainda são escassos os estudos da caracterização da madeira desta espécie, que se faz necessário para a sua correta e melhor utilização para as mais diversas finalidades.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização tecnológica da madeira de *Ochroma pyramidale* de reflorestamento em diferentes idades, visando seu uso na produção de painéis de madeira.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a anatomia e a química da madeira de *O. pyramidale* em diferentes idades;
- Entender o efeito da idade da madeira sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

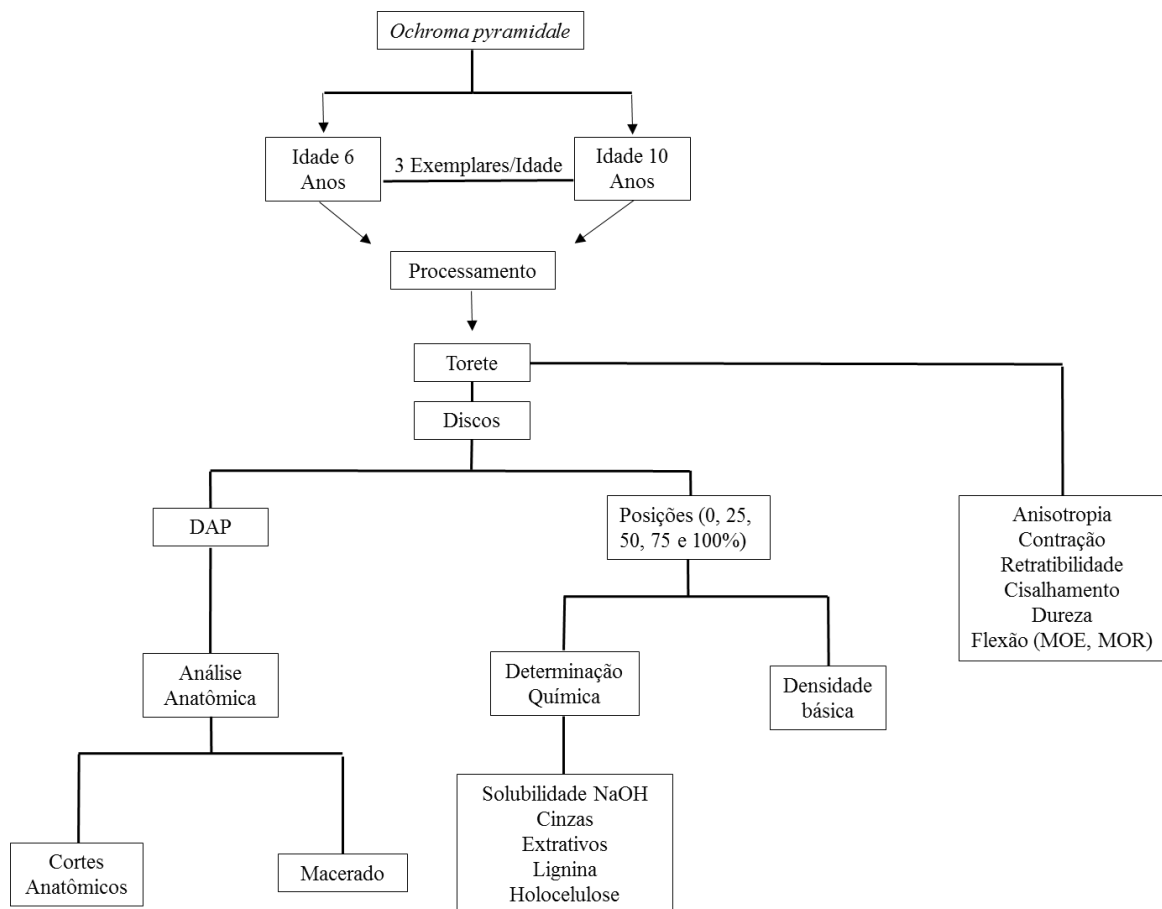
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

Para a execução do projeto, utilizou-se seis árvores de *O. pyramidale* fornecidas pelo projeto Balsa-Brasil, sendo três árvores com idade de 6 anos e três com idade de 10 anos, oriundas de plantio comercial com espaçamento de 3x2 m, localizados no Município de Mirastrela, Noroeste do Estado de São Paulo (Latitude: 19° 56' 08.03" S; Longitude: 50° 09' 48" W) (Figura 4B). O clima dessa região é segundo Classificação Köppen AW, com a utilização de dados agrometeorológicos de 427 localidades, apresenta chuva mensal de 240 mm e temperatura média de 18°C (ROLIM et al., 2007; SETZER, 1966).

Posteriormente esse material foi transportado até o Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) localizada no Município de Lages/SC. O material foi utilizado de acordo com a Figura 3.

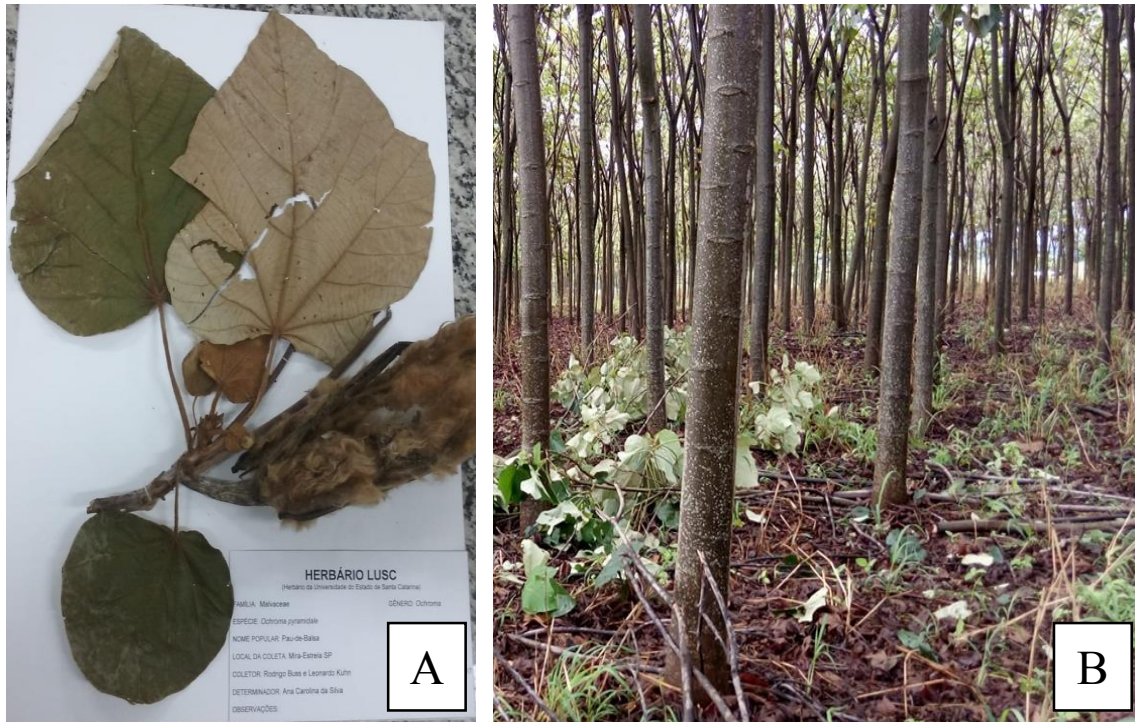
Figura 3 - Cronograma geral do Projeto.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Inicialmente foi coletado material botânico para montagem da exsicata (ver figura 4 A) e identificação da espécie, a mesma foi registrada no Herbário LUSC, com número de cadastro 9701 e código de barra 9218CB.

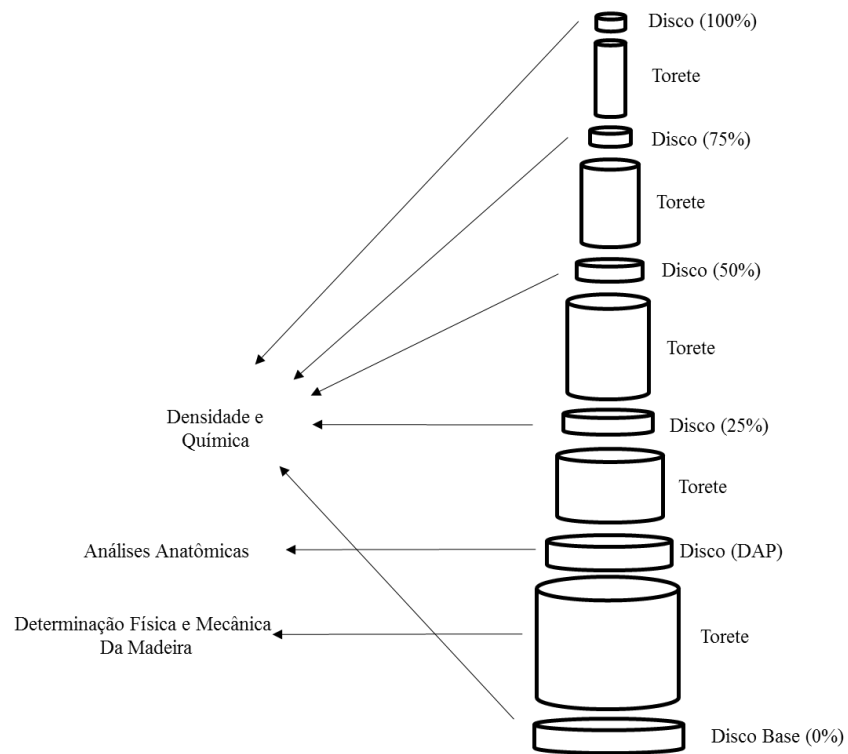
Figura 4 - Coleta do material. A) Exsicata da espécie *Ochroma pyramidale* B) Área da coleta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os discos foram retirados nas porções do DAP, 0%, 25%, 50%, 75% e 100% das árvores para o cálculo da densidade, análise química e anatômica. O esquema montado para realizar o traçamento das árvores pode ser observado na Figura 5.

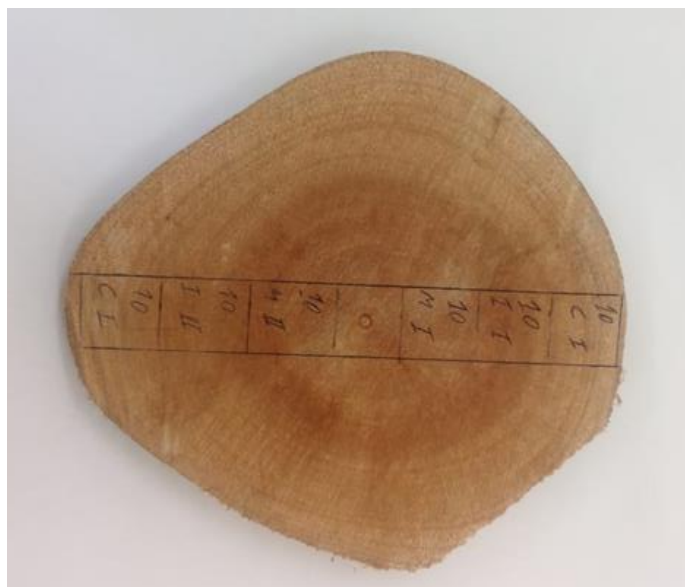
Figura 5 - Esquema com o traçamento das árvores



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

3.2 ANÁLISE ANATÔMICA

Para a análise anatômica foi utilizado apenas o disco do DAP (Diâmetro Altura do Peito) de onde foram retirados os corpos de prova para realização da caracterização da madeira, conforme figura 6.

Figura 6 – Disco de *Ochroma pyramidale* (DAP) para Anatomia.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Para a produção das laminas permanentes, foi utilizado o micrótomo de deslize Jung SM 2000, foram obtidos os cortes histológicos com espessura média de 18 μm . Após obtenção dos cortes histológicos, estes foram clarificados com hipoclorito de sódio, com concentração de 2%, lavados com água destilada, corados com safranina 1% e desidratados na sequência alcoólica. A sequência alcoólica utilizada foi composta de álcool 20%, álcool 50%, álcool 70%, álcool 80%, álcool 100%, álcool/acetato de butila na proporção 3:1, álcool/acetato de butila na proporção 1:1, álcool/acetato de butila na proporção 1:3 e acetato de butila 100%. Para a confecção e preservação dos cortes foi utilizado Entellan® como adesivo sintético, seguindo procedimento Iawa Comittivee (1989).

Para produção das laminas provisórias (macerado), inicialmente foi retirado pequenas lascas dos corpos de prova, na sequência esse material foi colocado em um recipiente com solução de Peróxido de Hidrogênio e Ácido acético 1:1. Esses recipientes foram levados à estufa para que ocorresse a dissociação das fibras, após a completa dissociação das fibras, esse material foi lavado e colorido com safranina, seguindo o método proposto por Franklin (1945). Todas as avaliações anatómicas foram realizadas no microscópio e software Módulo Leica Measure V6.1 (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros anatômicos mensurados

Características anatômicas Mensuradas	Observação
Diâmetro dos Vasos (μm)	Seção Transversal
Frequência dos Vasos $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$	
Altura dos Raios (μm)	Seção Tangencial
Largura dos Raios (μm)	
Altura dos Raio em Número De Células	
Largura dos Raios em Número de Células	
Frequência dos Raios n°/mm	Seção Radial
Diâmetro Médio das Pontoações Intervasculares (μm)	
Diâmetro Médio das Pontoações Raio-vasculares (μm)	Macerado
Comprimento dos Vasos (μm)	
Comprimento das Fibras (μm)	
Espessura da Parede das Fibras (μm)	
Diâmetro do lúmen das Fibras (μm)	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

3.3 ANÁLISE FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA

Determinação da densidade básica da madeira

Para obtenção da densidade básica da madeira de *O. pyramidale* os discos das 6 toras, de 6 e 10 anos nas posições de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% (Figura 7), com 5 cm de espessura, foram cortados em quatro cunhas.

Figura 7 - Traçamento das toras de *Ochroma pyramidale*

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Essas cunhas foram saturadas até atingirem massa constante. Com as cunhas foi obtido o volume saturado, utilizando o método da balança hidrostática, e a massa seca após secagem em estufa $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, conforme o método proposto por Vital (1987). A partir da massa seca e volume verde, determinou-se a densidade básica para cada cunha com o auxílio da Equação 1:

$$p \text{ básica} = \frac{MO\%}{V_{\text{saturado}}} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

p básica: Densidade básica (g/cm^3)

$MO\%$: Massa seca em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (g)

V saturado: Volume saturado (cm^3)

Foi retirado um torete da base de cada árvore, os quais foram transformados mecanicamente em pranchões com o auxílio de uma motosserra no sentido longitudinal. Os pranchões foram transformadas em corpos de prova para determinação das seguintes variáveis: Contração tangencial, radial e longitudinal, flexão estática (módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), compressão paralela às fibras (MOE e MOR), cisalhamento e dureza (transversal, radial, tangencial). Para a realização dos testes mecânicos foi utilizada a máquina universal de ensaio (EMIC-DL30.000).

Os procedimentos adotados para realização dos testes seguiram as normas da comissão pan-americana de normas técnicas: flexão estática (COPANT 555/1972), compressão paralela às fibras (COPANT 464/1972), cisalhamento (COPANT 463/1972) e dureza Janka (COPANT 465/1972).

3.4 ANÁLISE QUÍMICA

Foi realizada análise química para as diferentes idades das árvores de seis e dez anos. Retirou-se uma cunha de cada disco de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de cada árvore para transformação dos cavacos através de um picador e após, moídos em moinho tipo Willey. O material moído foi acondicionado em câmara climatizada até que atingisse umidade de equilíbrio de 12%. Foi realizado a granulometria do material, para obtenção das partículas retidas na peneira de 60 mesh, que foram utilizadas para as análises químicas. Realizou-se as análises de teor de umidade pelo método da estufa, análises teor de cinzas, solubilidade em água fria, solubilidade em água quente, solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH), extrativos em etanol tolueno (1:2), extrativos em solventes, extrativos totais e lignina. As normas utilizadas podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Normas utilizadas para a realização das análises químicas.

Análise	Norma
Material solúvel em hidróxido de sódio a 1%	NBR 7990 (ABNT, 2010)
Teor de extraíveis com água	NBR 7988 (ABNT, 1984)
Material solúvel em etanol-tolueno	NBR 14853 (ABNT, 2010)
Extrativos totais (%) (etanol-tolueno, etanol e água)	NBR 14660 (ABNT, 2004)
Teor de lignina (%)	TAPPI T413 om-06 (TAPPI, 1993)
Teor de cinzas (%)	TAPPI T222 om-08 (TAPPI, 1993)
Teor de Holocelulose	Holocelulose = 100 – (Extrativos totais + Teor de lignina + Teor de cinzas)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizada análise estatística em todos os conjuntos de dados, para as análises anatômicas utilizou-se teste de média entre as idades e as diferentes posições já para mecânica física e química da madeira foi comparado apenas entre as idades. Para testar a aderência de dados a distribuição normal, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para os conjuntos com mais de 30 dados, já o teste Shapiro Wilk foi utilizado para as análises com menos de 30 dados. Por sua vez, para testar a homogeneidade de dados foi realizado o teste de Bartlett. Os dados anatômicos de pontoações raio-vasculares, frequência de vasos por mm², altura dos raios, espessura de parede das fibras e comprimento das fibras não apresentaram distribuição normal e precisaram ser transformados, para isto utilizou-se transformação do tipo box-cox. Com todos os pressupostos atendidos foi realizada análise de variância e teste de Scott-knott ao nível de 95% de confiabilidade, utilizando o software Sisvar 5.6 Build 77 desenvolvido por Ferreira (2011) e a plataforma Action do programa Excel.

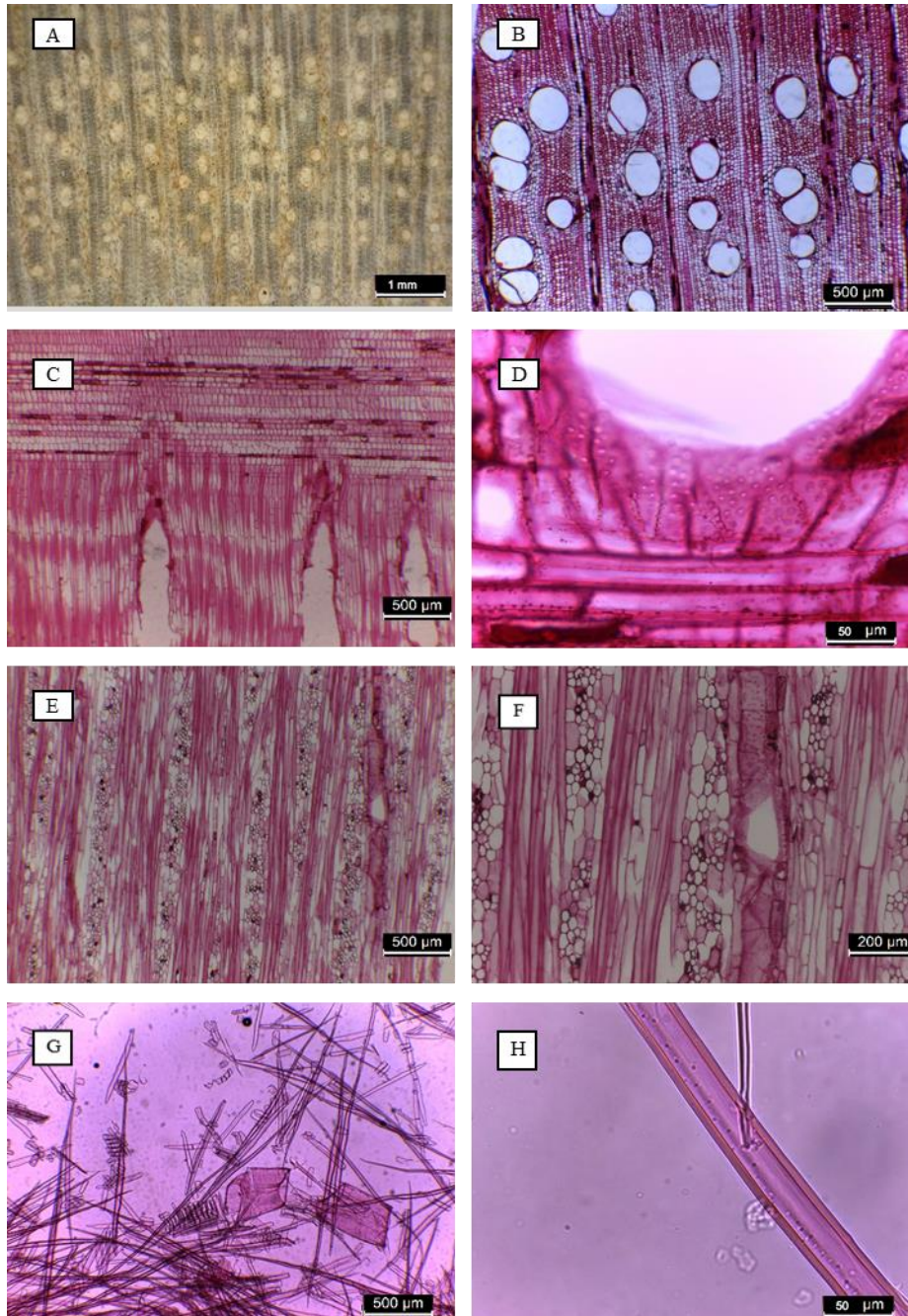
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA DA ESPÉCIE *O. pyramidale*.

Características macroscópicas: Camadas de crescimento e Parênquima Axial: distintos. Raios: visíveis a olho nu. Poros: Visíveis, solitários e múltiplos.

Características microscópicas: Lenho: com porosidade difusa, anéis de crescimento distintos. Vasos: circulares, em sua maioria solitários, mas também presente de forma geminada em múltiplos radiais de 2 a 8 unidades. Elementos vasculares com placas de perfuração simples. As pontuações intervasculares são alternas. Parênquima axial: paratraqueal vasicêntrico e apotraqueal difuso em agregado. Raios: Heterocelulares e multisseriados, apresentando células procumbentes e quadráticas. Fibras: Libriformes não septadas. Ausência de espessamentos helicoidais. Outros caracteres: Presença de raios agregados. Ausência de cistos glandulares, células mucilaginosas e máculas medulares.

Figura 8 –Macroscopia e microscopia (Macerado e cortes anatômicos) da espécie *Ochroma pyramidale*. A – Seção transversal (macroscópica) B – (4x) Seção transversal (Largura dos poros e poros por mm²); C – (4x) Radial (células procumbentes e quadráticas); D – (40x) Radial (Largura das pontuações raio-vascular e intervascular); E – (4x) Seção tangencial (Altura, largura e número de células do raio e raios por mm); F – (10x) Seção tangencial; G – (4X) Macerado (comprimento de fibra e vaso); H – (40X) Macerado (Largura de parede e Lúmen). Escala: A=1 mm; B-C-E-G=500 µm; F=200 µm; D-H=50 µm.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Na tabela 3 encontram-se os parâmetros analisados para a espécie de acordo com as estruturas anatômicas. Os valores médios de comprimento de fibra, largura de parede, largura de lúmen e comprimento de vaso foram de 2142; 5,28; 23 e 565 para 6 anos e 1979; 5,85; 21,65 e 521,30 μm para 10 anos respectivamente.

Tabela 3 - Valores referentes as fibras e vasos da madeira de *Ochroma pyramidale*.

Posição	Comprimento fibras (μm)		Largura parede (μm)		Largura Lúmen (μm)		Comprimento Vasos (μm)	
	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos
C	2310aA	2043 bA	5,50bA	6,38aA	23,62 aA	20,64bB	588aA	571aA
I	2154aB	2019 bAB	5,14bA	5,57aA	23,45aA	21,54bB	544aA	524aA
M	2061 aB	1876 bB	5,19bA	5,60aA	23,36aA	22,80aA	562aA	519aA
Máximo	3.318,33	3.063,61	11,99	13,62	49,32	47,68	949,84	986,99
Mínimo	897,93	1.142,57	1,89	2,14	8,71	5,34	127,77	175,76
Média	2.142,31	1.979,49	5,28	5,85	23,48	21,65	564,69	521,30
DP	379,65	311,48	1,53	1,74	5,80	5,96	149,08	137,60
CV (%)	17,72	15,74	28,90	29,71	24,69	27,54	26,40	26,40

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Legenda: C = Próximo a casca; I = Intermediário; M = Próximo a medula; μm = Micrômetros.

Letras maiúsculas na coluna, letras minúsculas na linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 95% de confiabilidade.

Para o comprimento de fibra os maiores valores foram observados na seção próxima a casca para as duas idades, já quando comparamos entre as duas idades ocorre uma superioridade da idade de 6 anos em relação a idade de 10 anos, onde todas diferiram estatisticamente. A largura de parede não demonstrou diferença no sentido radial dentro das idades, já quando comparamos as idades entre as posições, observa-se uma maior largura na idade de 10 anos.

Para a largura do lúmen não ocorreu diferença estatística no sentido radial para idade de 6 anos, para a idade de 10 anos o maior valor foi observado na região próxima a medula, diferindo estatisticamente das demais, entre as idades apenas a região próxima a medula não demonstrou diferença estatística. O comprimento de vaso não demonstrou diferença estatística entre nenhuma das comparações. Lobão et al. (2011) em seu estudo com a espécie *O. pyramidale* proveniente de área nativa encontrou valores de 1929; 4,24; 21,13 μm para

comprimento de fibra, largura de parede e largura de lúmen respectivamente, valores que se assemelham aos do presente estudo.

Na tabela 4 encontram-se os parâmetros referentes aos vasos e pontoações. Os valores médios de diâmetro de vaso, freq/vasos, pontoações intervasculares e pontoações raio-vasculares para madeira de 6 anos foram de 213 μ m; 3n^o/mm²; 8 μ m e 7 μ m respectivamente. Para a madeira de 10 anos foi de 210 μ m; 3n^o/mm²; 8 μ m e 7 μ m. Os maiores valores de diâmetro de vaso foram observados na região próxima a casca em ambas as idades, não diferindo estatisticamente entre si. Houve maior frequência dos vasos por milímetro quadrado na idade de 10 anos na região próxima a casca, diferindo estatisticamente entre as posições e entre a idade.

Para as pontoações intervasculares a maior média observada foi na idade de 6 anos na região próximo a casca, com valor de 8,19 μ m não diferindo estatisticamente com a posição próxima a medula na mesma idade, na idade de 10 anos não houve diferença estatística entre as diferentes posições. A maior média observada para as pontoações raio-vasculares, foi para a idade de 6 anos na região próxima a medula com 7,42 μ m, não diferindo estatisticamente da posição próxima a casca dentro da mesma idade.

Tabela 4 - Valores referentes aos vasos e pontoações da madeira de *Ochroma pyramidale*.

Posição	Diâmetro Vaso (μ m)		Freq/Vasos (N ^o /mm ²)		Pontoações Intervasculares (μ m)		Pontoações raio-vasculares (μ m)	
	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos
C	221,94aA	222,10 aA	2,45bB	3,68aA	8,19aA	7,88bA	7,29aA	7,08bB
I	215,19aA	203,19bB	3,51aA	2,87bB	7,91aB	7,82aA	7,14bB	7,40aA
M	200,54aB	204,01aB	2,57bB	3,24aB	8,14aA	7,85bA	7,42aA	6,92bB
Máximo	348,48	420,75	11,00	9,00	13,05	11,27	11,40	11,15
Mínimo	86,74	107,58	0	0	5,01	4,45	4,65	4,57
Média	212,56	209,54	2,75	3,17	8,08	7,85	7,29	7,13
DP	42,70	42,89	1,91	1,71	1,16	1,11	1,00	0,96
CV (%)	20,09	20,47	69,54	54,12	14,39	14,12	13,69	13,39

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Legenda: C = Próximo a casca; I = Intermediário; M = Próximo a medula; μ m = Micrômetros. Letras maiúsculas na coluna, letras minúsculas na linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 95% de confiabilidade.

Os valores de diâmetro de vasos são superiores aos encontrados por Braz et al. (2014) em seu trabalho com diversos clones de *Eucalyptus*, que encontraram valor médio de 97,48 μm . Já para frequência de vasos por milímetro quadrado o mesmo autor encontrou 10,76 à 13,52 vasos, superiores aos observados no presente estudo. Essa diferença entre diâmetro e frequência, se explica pelo maior diâmetro dos vasos encontrados em ambas as idades de *O. pyramidale*, isso reflete em uma menor concentração de vasos por milímetro quadrado. A maior parte das espécies de *Eucalyptus* possui entre 10 a 20% do seu volume ocupado por vasos, mas as espécies com menor densidade básica e crescimento mais rápido possuem maior quantidade e diâmetros dos vasos (FOELKEL, 2009).

Os dados analisados para a espécie de acordo com a estrutura anatômica dos raios podem ser visualizados na tabela 5. Os valores médios de altura dos raios, largura raios, número de células e freq/raios para 6 anos foram de 1.324,78 μm ; 136,68 μm ; 87 células e 3,40 raios respectivamente. Já para 10 anos foi de 992,45 μm ; 137,40 μm ; 86 células e 3,26 raios.

Tabela 5 - Valores referentes aos raios da madeira de *Ochroma pyramidale*.

Posição	Altura Raios (μm)		Largura Raios (μm)		Número de células (n°)		Freq/raios (mm/l)	
	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos	6 anos	10 anos
C	1464,28aA	1053,71bA	163,09aA	140,55bA	102,02aA	90,04bA	3,16aB	3,33aA
I	1259,46aB	923,71bB	125,17aB	130,26aA	77,90aB	83,16aA	3,65aA	3,04bB
M	1233,49aB	1000,47bB	120,65aB	141,40aA	80,14aB	85,28aA	3,37aB	3,42aA
Máximo	2.411,50	2.057,82	1.624,00	1.389,19	223,00	275,00	7,00	7,00
Mínimo	134,42	149,78	18,23	43,52	14,00	15,00	1,00	1,00
Média	1.324,78	992,45	136,68	137,40	86,93	86,16	3,40	3,26
DP	460,08	306,93	90,98	79,69	42,85	46,82	1,04	1,11
CV (%)	34,73	30,93	66,56	57,99	49,30	54,34	30,46	33,93

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Legenda: C = Próximo a casca; I = Intermediário; M = Próximo a medula; μm = Micrômetros. Freq =Frequência. Letras maiúsculas na coluna, letras minúsculas na linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 95% de confiabilidade.

As maiores médias obtidas para a altura dos raios foi na posição próximo a casca para as duas idades, ambas diferiram estatisticamente entre si e entre as demais posições. Para a largura dos raios o maior valor médio foi observado na idade de 6 anos, na região próxima a

casca com valor de 163,09 μm , diferindo das demais regiões dentro da idade. O maior número de células foi obtido na idade de 6 anos próximo a casca, com 102 células que diferiu entre as demais posições dentro da idade e também entre a mesma posição entre as idades. A maior frequência de raios por milímetro linear foi na idade de 6 anos na região intermediária, com 3,65 raios, diferindo estatisticamente das demais posições dentro da idade

4.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS

Os resultados das análises químicas do material de *O. pyramidale* são apresentados na tabela 6, somente para as análises de etanol tolueno e água quente as idades de 6 e 10 anos foram distintas.

Tabela 6 - Valores referentes a determinação química da madeira.

Teor (%)	Cinzas	Extrativos					Lignina	Holocelulose
		Totais	Etanol - Tolueno	NaOH	Água Fria	Água Quente		
6 anos	1,45a	6,33a	2,45b	16,97a	1,78a	2,78b	18,80a	73,42a
	(4,29)	(2,54)	(2,42)	(3,09)	(18,08)	(3,94)	(8,94)	(2,28)
10 anos	1,33a	6,02a	2,75a	17,02a	1,94a	3,37a	18,92a	73,74a
	(1,33)	(3,67)	(4,23)	(0,95)	(8,66)	(10,78)	(25,56)	(6,54)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019. Letras iguais não diferem entre si na coluna pelo teste Scott-Knott a 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação entre parênteses.

Quando comparamos com o trabalho de Lobão et al. (2011) com madeira de *O. pyramidale* oriundo de uma unidade de conservação, os autores encontraram o valor para lignina de 25,61(%), valor este, superior ao encontrado no presente trabalho para as duas idades. Já Hellmeister (2017) encontrou valor médio de 14% para lignina para material residual de *O. pyramidale*, que fica abaixo do encontrado no estudo. Para extrativos totais o mesmo autor encontrou o valor de 19,2%. Os teores de holocelulose são superiores aos encontrados para madeira de *Pinus* spp., e *O. pyramidale* que segundo Pereira et al. (2017) e Lobão et al. (2011) é de 65% e 70% respectivamente.

4.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Ochroma pyramidale*

A densidade básica da madeira de *O. pyramidale* nas duas idades pode ser observada na Tabela 7, os valores encontrados foram de 0,254 g/cm³ para a idade de 6 anos, e de 0,270 g/cm³ para a idade de 10 anos.

Tabela 7 - Valores da densidade básica para a madeira de *Ochroma pyramidale*

Idade (Anos)	Média densidade básica (g/cm ³)	CV
6	0,254a	13
10	0,270a	11

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-knott ao nível de 95% de confiabilidade.

Segundo Carvalho (2010) a densidade da madeira de *O. pyramidale* pode variar de 0,070 g/cm³ a 0,350 g/cm³. Já Finger et al. (2012) indicam que a densidade da madeira de *O. pyramidale* pode variar de 0,146 g/cm³ a 0,172 g/cm³. Alguns estudos relatam a densidade de 0,265 g/cm³ para a espécie (PAULA; COSTA 2011). Lobão et al. (2011) encontraram em seu estudo com *O. pyramidale* a densidade básica de 0,250 g/cm³. Comparando a espécies de baixa densidade, alguns trabalhos com o gênero *Schizolobium* spp., demonstram densidades próximas as encontradas no presente trabalho (SILVA et al., 2016; URBINATI, 2013). Bianche et al. (2012) em seu estudo utilizando a espécie *Schizolobium amazonicum*, encontraram valores similares aos do presente estudo.

Os valores médios de densidade básica obtidos para a espécie *O. pyramidale* (0,254 e 0,270 g/cm³) 6 e 10 anos respectivamente se enquadram dentro da margem adequada para a produção de painéis de madeira particulado, tendo em vista que madeira de espécies com densidade básica de até 0,550 g/cm³ são as mais recomendadas para a produção desse tipo de painel (MALONEY, 1993).

A Tabela 8 apresenta os dados das propriedades físicas da madeira de *O. pyramidale*, apenas o coeficiente de anisotropia e a retratibilidade radial demonstraram diferença estatística entre as idades.

Tabela 8 - Valores para as propriedades físicas da madeira de *Ochroma pyramidale*.

Idade (anos)	Coeficiente de anisotropia	Coeficiente de retratibilidade volumétrica	Contração (%)		
			Longitudinal	Radial	Tangencial
6	1,41a (28,62)	0,2785a (32,06)	0,1054a (35,71)	3,1858a (31,70)	4,5102a (32,50)
10	1,73b (22,82)	0,2589a (17,87)	0,0891a (43,23)	2,4691b (29,10)	4,2828a (24,62)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019. Letras iguais não diferem entre si na coluna pelo teste Scott-Knott a 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação entre parênteses.

Os valores encontrados para as duas idades de *O. pyramidale* ficaram abaixo do encontrado por Braz et al. (2013), em seu trabalho com a espécie *Toona ciliata* (Cedro Australiano), que obtiveram para árvores de seis anos com densidade de 0,293g/cm³, valores de 11,18; 3,32 e 0,56 (%) para contração tangencial, radial e coeficiente de retratibilidade volumétrica respectivamente.

De acordo com Moreschi (2005) o coeficiente de anisotropia é calculado pela relação entre a contração tangencial e radial, seguindo três classificações: As consideradas excelentes, variando de 1,2 a 1,5 (procuradas para usos que não permitem empenamentos, torções, etc). As normais com faixa entre 1,5 a 2,0. E as de baixa qualidade que são as acima de de 2,0 (Madeiras de baixa qualidade - inapropriada para várias utilizações, mas algumas ainda de grande interesse comercial por reunirem outras propriedades desejadas).

O coeficiente de anisotropia demonstrou diferença estatística entre as idades para a madeira de *O. pyramidale*, a idade de 6 anos se enquadra dentro das excelentes, com fator anisotrópico de 1,41. Já a madeira com idade de 10 anos é considerada normal apresentando valor de 1,73.

4.4 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os resultados dos testes de flexão estática e compressão paralela às fibras podem ser observados na Tabela 9, observa-se dentro da compressão paralela às fibras o módulo de elasticidade foi o único que diferiu estatisticamente, onde a idade de 10 anos apresentou resultado superior em relação a de 6 anos com resultados de 981,18 MPa.

Tabela 9 - Valores para flexão estática e compressão paralela às fibras da madeira de *Ochroma pyramidale*.

Idade (anos)	Flexão estática (MPa)		Compressão paralela às fibras (MPa)	
	MOE	MOR	MOE	MOR
6	3498,51a (35,32)	40,87a (15,90)	804,39b (21,92)	2,79a (15,33)
10	3581,85a (13,58)	45,61a (11,75)	981,18a (22,76)	2,58a (11,99)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019. Letras iguais não diferem entre si na coluna pelo teste Scott-Knott a 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação entre parênteses.

Quando comparamos os valores com espécies de baixa densidade, percebe-se que os valores são inferiores aos encontrados em literatura, em seu estudo com diversas espécies, Araújo (2007) estudando espécies de baixa densidade (entre 0,290 até 0,380g/cm³) encontrou valores para módulo de elasticidade à flexão estática superiores aos do presente estudo com 4.413; 8.728; 7257; 7.943; 8630 e 7649 MPa, para as espécies *Ceiba pentandra*, *Jacaranda copaia*, *Simarouba amara*, *Ficus insipida*, *Parkia multijuga* e *Enterolobium maximum* respectivamente. Os valores inferiores do trabalho podem ser explicados pela abundância de vasos encontrados na espécie *O. pyramidale*, que são estruturas fracas e que acabam influenciando na resistência mecânica da madeira (BURGER e RICHTER, 1991).

No mesmo estudo Araújo (2007) encontrou valores para módulo de ruptura a flexão estática de 29, 55, 64, 62, 61 e 49 respectivamente para a mesmas espécies citadas anteriormente, para esta variável a espécie estudada é superior a *Ceiba pentandra* e se aproxima dos valores encontrados para a espécie *Enterolobium maximum*.

Os valores de cisalhamento e dureza para a madeira de *O. pyramidale* nas idades de 6 e 10 anos estão apresentados na Tabela 10. Os resultados de cisalhamento e dureza para a madeira de 10 anos e 6 anos não demonstrou diferença estatística.

Tabela 10 - Valores para cisalhamento e dureza longitudinal, radial e tangencial da madeira de *Ochroma pyramidale*.

Idade (anos)	Cisalhamento (MPa)	Dureza (MPa)		
		Longitudinal	Radial	Tangencial
6	4,87a (15,15)	1454,33a (18,63)	1270,35a (29,12)	1242,60a (22,62)
10	5,14a (24,73)	1657,71a (21,77)	1378,03a (34,59)	1291,24a (31,77)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019. Letras iguais não diferem entre si na coluna pelo teste scott-knott a 95% de confiabilidade. Coeficiente de variação entre parênteses.

Araújo (2007) em seu estudo encontrou valores de cisalhamento de 3,73 MPa para a espécie de *Ceiba pentadra* (Sumaúma), valor inferior ao encontrado no presente trabalho. Araújo (2007) encontrou 1196 MPa para dureza paralela as fibras para a espécie *Ficus insipida* (Figueira), ficando abaixo do encontrado no presente estudo. Ambos os trabalhos utilizaram espécies de baixa densidade.

5 CONCLUSÕES

- Para análise anatômica os resultados demonstraram que o comprimento dos vasos e das fibras diminuíram no sentido casca-medula para ambas as idades. Já a largura das fibras e do lúmen foram semelhantes em ambas as posições. Os valores das lâminas permanentes apresentaram diferença entre as posições e as diferentes idades para a maioria das avaliações. A madeira de *O. pyramidale* pode apresentar potencial para produção de papel e celulose, devido as características encontradas nas fibras. Por apresentar grande quantidade de poros a madeira dessa espécie pode apresentar uma linha de cola “faminta” nos diversos processos de colagem.

- Não ocorreu diferença estatística entre a madeira de 10 e 6 anos para a maioria das propriedades físicas e mecânicas. A espécie demonstra potencial para os processos de beneficiamento, enquadrando-se como excelente para as avaliações de anisotropia.

- Com relação a análise química não houve variação significativa para a maioria das análises entre as idades. A espécie apresenta potencial para produção de painéis, com baixa teor de extrativos e elevada porcentagem de lignina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, H. J. B. de. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p.399-416, set. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14660**: Madeira - Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14853**: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7988**: Madeira – Determinação do teor de extraíveis com água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7990**: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 4p.
- BIANCHE, J. J. et al. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p.623-630, 01 dez. 2012.
- BRAZ, R.L. et al. Caracterização Anatômica, Física e Química da Madeira de Clones de *Eucalyptus* Cultivados em Áreas Sujeitas à Ação de Ventos. **Revista Ciência da Madeira - Rcm**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.127-137, 30 nov. 2014.
- BRAZ, R. L. et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p.663-670, nov. 2013
- BROWNING, B.L. **The Chemistry of wood**. New York, John Wiley & Sons, 1963. 689p.
- BURGER, M. L. & RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991. 154p
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: **Embrapa Florestas**, 2010. 644 p. (Coleção espécies arbóreas brasileiras).
- DIAS, F. M., LAHR, F. A. M., Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 102-113, jun. 2004.
- FERNÁNDEZ, B. O. **Sistemas de Treliças Modulares Para Pontes de Madeira: uma boa alternativa para o estado do Pará**. São Carlos, 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

FINGER, Z.; LOGSDON, N. B.; ROCHA, K. J. Descrição dendrológica e caracterização física da madeira de Pau-de-balsa, *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) Urb. **Encontro Brasileiro Em Madeiras E Estruturas De Madeira.**, Vitória, Anais. UFES, 2012.

FOELKEL, C. E. B. Elementos de vaso e celuloses de eucalipto. **Grau Celsius**, 2009. Disponível em: Acesso em: 17 jan. 2019.

FRANKLIN, GL. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resin and wood-resin composites, and a new marcerating method for wood. **Nature** 3924: 51.

HELLMEISTER, Victor. **Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*)**. 2017. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2017. Cap. 1.

IAWA Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bull.** 10(2):219-332.

KLOCH, Umberto et al. Manual e fichas para prática de análises químicas quantitativas da madeira, 3ª edição revisada, **Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, 2012.

LEWIN, M.; GOLDSTEIN, IS. **Wood structure and composition**. New York: M. Dekker; 1991. 488 p.

LOBÃO, M. S. et al. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestales**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p.469-477, dez. 2011.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p.889-924, 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F; ALENCAR, J.C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA. 1979.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681 p.

MATCALF, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford: Claredon Press, v.1, p.349-358, 1983.

MORALES, E. A. M. (2005). **Determinação do módulo de elasticidade da madeira: proposta para simplificação de procedimentos metodológicos**. São Carlos. 111 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. Apostila didática FUPEF, 4ª ed., Curitiba: FUPEF, 2005.

PAULA, J. E. DE; ALVES, J. L. H. Madeiras Nativas de Brasil: Anatomia-dendrologia-dendrometria-produção. In: PAULA, José Elias de; ALVES, José Luiz de Hamburgo. **Madeiras Nativas de Brasil**. Porto Alegre: Cinco Continentes Editora Ltda., 2010. Cap. 1. p. 15-471.

PAULA, JOSÉ ELIAS DE; COSTA, KAROLINE PEREIRA. Densidade da Madeira de 932 Espécies Nativas do Brasil: In: PAULA, José Elias de; COSTA, Karoline Pereira. **Densidade da Madeira de 932 Espécies Nativas do Brasil**. Porto Alegre: Cinco Continentes Editora Ltda, 2011. Cap. 1. p. 7-248.

PEREIRA, Giuliano Ferreira et al. Painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 114, p.373-382, jul. 2017.

RIZZINI, C.T. **Árvores e Madeiras do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977.

ROLIM, Glauco de Souza et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p.711-720, 2007.

SETZER, J. Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo. **Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai**, 1966. 61p

SILVA, M. G. da et al. Estudo anatômico e físico da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* proveniente de povoamentos nativos da Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**, [s.l.], v. 44, n. 110, p.293-301, 2016. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF).

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry **TAPPI 413**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 900°C, Test Method. ATLANTA TAPPI PRESS, 1993. 4p.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry **TAPPI T222**: Acid-insoluble lignin in wood and pulp, Test Method. ATLANTA TAPPI PRESS, 2002. 5p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York, 1991. 494 p.

URBINATI, Cláudia Viana. **Influência das características anatômicas em juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (huber ex. ducke) barneby (paricá)**. 2013. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Cap. 1

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de investigação florestal (SIF/UFV), 1984. 21p.

CAPÍTULO 3: PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS DE BAIXA DENSIDADE DA MADEIRA DE *Ochroma pyramidale*.

RESUMO

Com a necessidade de se encontrar novas fontes de matéria-prima, a espécie *Ochroma pyramidale* (pau-de-balsa) surge como uma alternativa, pois apresenta baixa massa específica, que são as requeridas para a produção de painéis. O objetivo do trabalho foi produzir e avaliar os painéis particulados de baixa densidade da espécie. Foram obtidas árvores de *O. pyramidale* de plantio comercial da região noroeste de São Paulo, com idades de 6 e 10 anos (três por idade). O material foi processado em partículas para a produção dos painéis. Foram produzidos painéis de baixa densidade homogêneos utilizando duas idades distintas de *O. pyramidale* e *Pinus* spp como testemunha, com densidades de 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 g/cm³ divididos em 13 tratamentos. Para o processo de prensagem foram utilizados os parâmetros de temperatura de 180 °C, pressão específica de 30 kgf/cm² e tempo de 18 minutos. Nos painéis produzidos, foram avaliadas as propriedades físicas de umidade, massa específica, absorção de água e inchamento em espessura após 02 e 24 horas de imersão em água e também as propriedades mecânicas de flexão estática (MOE e MOR), tração perpendicular e ligação interna. As análises físicas dos painéis demonstraram aumento do inchamento de acordo com o aumento da densidade, isto foi observado para 02 e 24h, já a absorção demonstrou resultado inverso, onde com aumento da densidade ocorreu menor absorção de água em 02 e 24h. Para as análises mecânicas os valores tiveram comportamento crescente, ocorrendo melhora para esta propriedade conforme o aumento da densidade dos painéis. A espécie *O. pyramidale* apresenta potencial como espécie alternativa para a produção de painéis de madeira, especialmente quando comparada a espécie tradicionalmente utilizada como o *Pinus* spp.

Palavras-chave: Baixa densidade, Não convencional, Isolamento.

ABSTRACT

The necessity to find new sources of raw materials for the production of wood panels leads to the use of *Ochroma pyramidale* specie, which emerges as an alternative due to its low density. This study aimed to produce and evaluate low density particleboards of *O. pyramidale*. The trees of 6 and 10 years old were collected in a commercial plantation in the Northwest region of São Paulo state, in Brazil. The material was processed into particles and low density particleboards were produced for each age, with densities of 0.2; 0.3; 0.4 and 0.5 g/cm³, in 13 different treatments, using low density particleboards of *Pinus* spp as the witness. The pressing parameters of 30 kgf/cm² and 180°C for 18 minutes were used. The panels were evaluated according to its moisture content, density, water absorption, 2h and 24h thickness swelling, MOR, MOE, and internal bond. The physical analysis showed an increasing in 2h and 24h thickness swelling, with the increasing of panel's density. The water absorption presented an opposite behavior, with a decreasing of water absorption with the increasing of panel density. The mechanical properties presented an increasing of resistance, with the increasing of panel's. The *O. pyramidale* specie presents a potential as an alternative to be used in the production of low density particleboards, especially when compared to traditional specie as the *Pinus* spp.

Keywords: Low density, Not conventional, Insulation.

1 INTRODUÇÃO

Os painéis particulados são produzidos com partículas de madeira, e com a incorporação de um adesivo sintético e consolidados através de aplicação de calor e pressão. No mundo, são empregados como matérias-primas os resíduos industriais de madeira, os resíduos da exploração florestal, as madeiras de qualidade inferiores (não industrializáveis de outra forma), as madeiras provenientes de florestas plantadas e as madeiras recicladas. No Brasil, a madeira de florestas plantadas, em especial de *Eucalyptus* e de *Pinus* constitui a principal fonte de matéria-prima (IWAKIRI, 2005; MALONEY, 1993; MATTOS et al., 2008).

Dentre os painéis de madeira reconstituída, os painéis de madeira particulado assumem grande importância, pelo fato de não demonstrar grandes exigências quanto a qualidade da matéria prima (TRIANOSKI, 2010). Mesmo que no ano de 2016 as indústrias de painéis tenham demonstrado queda na produção de MDF/HDF de 8,8 e 8,9% respectivamente, os painéis do tipo MDP tiveram um aumento de produção de 8,9%, isso ocorre devido a ampla diversidade de produtos, o segmento produtor de painéis de madeira, dentre eles o de painéis particulados, tem demonstrado elevado dinamismo como reflexo da elevada taxa de crescimento da indústria moveleira, principal consumidora deste tipo de painel (IBÁ 2017; MACEDO; ROQUE, 2011).

Com relação ao adesivo, a ureia formaldeído (UF) é a mais utilizada pelas indústrias do setor de painéis, tem vantagem em relação ao custo, rápida “cura” e pouca influência na coloração, entretanto, sendo mais indicada para uso interior (IWAKIRI, 2005; MARRA 1992).

É muito importante conhecer a espécie de madeira a ser utilizada na produção dos painéis particulados, visto que a mesma pode exercer influências positivas e negativas no produto final (MALONEY, 1993). No Brasil, a madeira de florestas plantadas, em especial do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* – constitui a principal fonte de matéria-prima para este tipo de painel (IWAKIRI, 2005; MATTOS et al., 2008).

Sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de matéria-prima alternativa pode contribuir para melhorar a qualidade e as propriedades dos painéis de madeira particulados, devido às diferentes características inerentes a espécie, como por exemplo, produzir painéis leves e que possam ser utilizados como revestimento. Pode ainda, significar um incentivo a introdução e a ampliação destas espécies em grandes áreas de florestas plantadas, sempre que, assegurada à qualidade e os requisitos do produto em questão (TRIANOSKI, 2010).

A espécie *Ochroma pyramidale*, pertence à família Malvaceae, é popularmente chamada de pau-de-balsa, pau-de-jangada ou balsa, sendo, anteriormente denominada de *Ochroma lagopus Swartz*. A área de ocorrência vai do sul do México à Bolívia, Peru e até o estado de Amazonas, frequente na sua metade ocidental. Ocorre em matas primárias e secundárias e às margens dos rios e igapós (LOUREIRO, 1979; RIZZINI, 1977; RIZZINI, 1978).

A espécie *Ochroma pyramidale* vem se destacando em plantios comerciais na Região Centro-Oeste e Norte do Brasil, devido ao seu rápido crescimento em condições de clima e solo favoráveis. Dessa forma, essas regiões teriam mais uma opção de espécie florestal de rápido crescimento para abastecer o segmento de mercado.

Pelas suas características, é ideal para construção naval no revestimento de iates, e nas construção civil como isolante térmico e acústico. Ainda é utilizada na construção de maquetes, caixas leves, artesanato, pranchas de windsurfe, aerodelismo e pode substituir a cortiça, em seus diversos usos (LOUREIRO, 1979; LORENZI, 1992).

Entretanto, não se tem informações de seu uso na produção de chapas de MDP, o que potencializa o uso desta espécie de floresta plantada. A espécie *O. pyramidale* surge como uma alternativa de madeira que apresenta baixa densidade, que são as mais apropriadas para produção de painéis de baixa densidade.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar painéis particulados de baixa densidade utilizando a madeira de *Ochroma pyramidale* em duas idades e de *Pinus* spp como testemunha.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

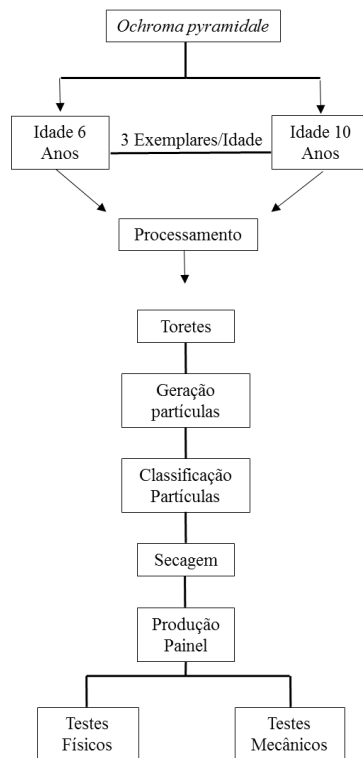
- Produzir painéis particulados de baixa densidade de *O. pyramidale* e *Pinus* spp. (testemunha) testando diferentes densidades utilizando adesivo ureia formaldeído;
- Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

Foram obtidas seis árvores de *O. pyramidale* fornecidas pelo projeto Balsa-Brasil, três árvores com idade de 6 anos e três com idade de 10 anos. Esse material foi transportado até o Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) localizada no Município de Lages/SC. O material foi utilizado de acordo com a Figura 9.

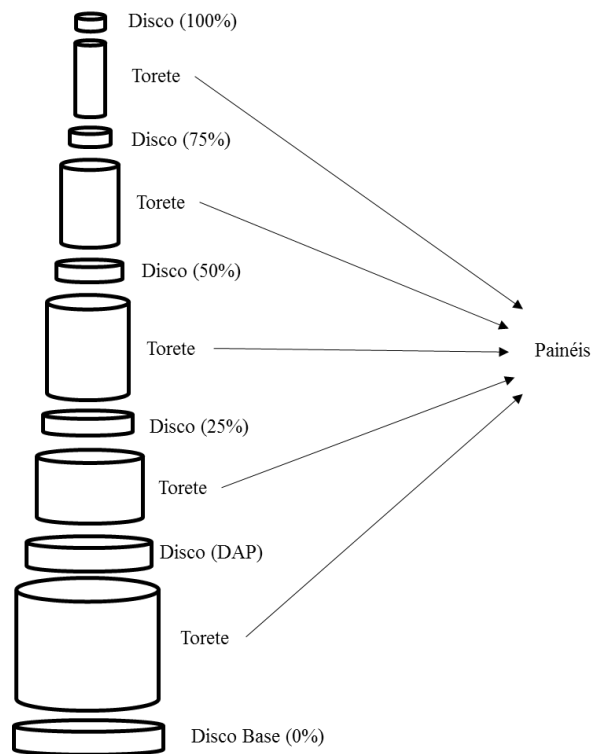
Figura 9 - Cronograma geral do Trabalho.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

O esquema montado para realizar o traçamento das árvores pode ser observado na figura 10.

Figura 10 - Esquema de traçamento das árvores



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Para os tratamentos testemunhas do projeto, foram utilizadas partículas de *Pinus* spp., devido a empresa fornecedora trabalhar com as espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. O adesivo utilizado para produção dos painéis de madeira particulada foi a ureia formaldeído, bem como, adição de emulsão de parafina. Todos os componentes citados foram fornecidos pela empresa Bonet. A empresa quem forneceu o painel de *Pinus* spp., produzido em sua linha de produção para ser utilizado como testemunha para a densidade de 0,3 g/cm³.

3.3 PAINÉIS PARTICULADOS

3.3.1 Plano experimental

O trabalho foi constituído por 13 tratamentos, com 3 repetições cada, totalizando 39 painéis homogêneos, com diferentes valores de densidade 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 g/cm³, e com 12% de teor de adesivo Ureia formaldeído (UF) e 1% de emulsão de parafina (Tabela 11).

Tabela 11 - Tratamentos utilizados no projeto.

Tratamento	Densidade (g/cm³)	Espécie
T1		<i>Pinus</i> spp
T2	0,2	<i>O.pyramidale</i> 6 anos
T3		<i>O.pyramidale</i> 10 anos
T4		<i>Pinus</i> spp
T5	0,3	<i>O.pyramidale</i> 6 anos
T6		<i>O.pyramidale</i> 10 anos
T7		<i>Pinus</i> spp
T8	0,4	<i>O.pyramidale</i> 6 anos
T9		<i>O.pyramidale</i> 10 anos
T10		<i>Pinus</i> spp
T11	0,5	<i>O.pyramidale</i> 6 anos
T12		<i>O.pyramidale</i> 10 anos
T13	0,3	Comercial

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

3.3.2 Obtenção e geometria das partículas

Após a retirada dos discos para a densidade, o restante do material de *O. pyramidale* foi transformado em toretes e transportado até a empresa Bonet localizada em Santa Cecília, SC, onde passaram por um “Cepilhador”, da marca Hombak, modelo U-74, utilizado pela empresa em seu processo industrial. Na sequência as partículas foram transportadas novamente para o laboratório do Centro de Ciências Agroveterinárias. A madeira de *Pinus* spp. foi fornecida já na forma de partículas, sendo a mesma granulometria utilizada no processo da empresa na fabricação de sua linha de painéis.

A determinação da geometria das partículas foi realizada pelo método descrito por Trianoski (2010). As partículas foram mensuradas aleatoriamente e com paquímetro e micrômetro digital foram obtidas as medidas de comprimento, largura e espessura de 100 partículas.

O índice de esbeltez foi calculado pela relação comprimento e espessura das partículas e a razão de planicidade pela relação largura e espessura. Para realização do cálculo de área superficial das partículas foi utilizado o método proposto por Moslemi (1974).

3.3.3 Secagem das partículas

Para alcançar o teor de umidade necessário para produção dos painéis, as partículas de *Pinus spp.* e *O. pyramidale* foram secas em estufa, a uma temperatura de 80°C, sendo realizadas medições em intervalos de tempo em uma termo-balança de infra-vermelho até que atingissem umidade ideal de 4%(+/-2).

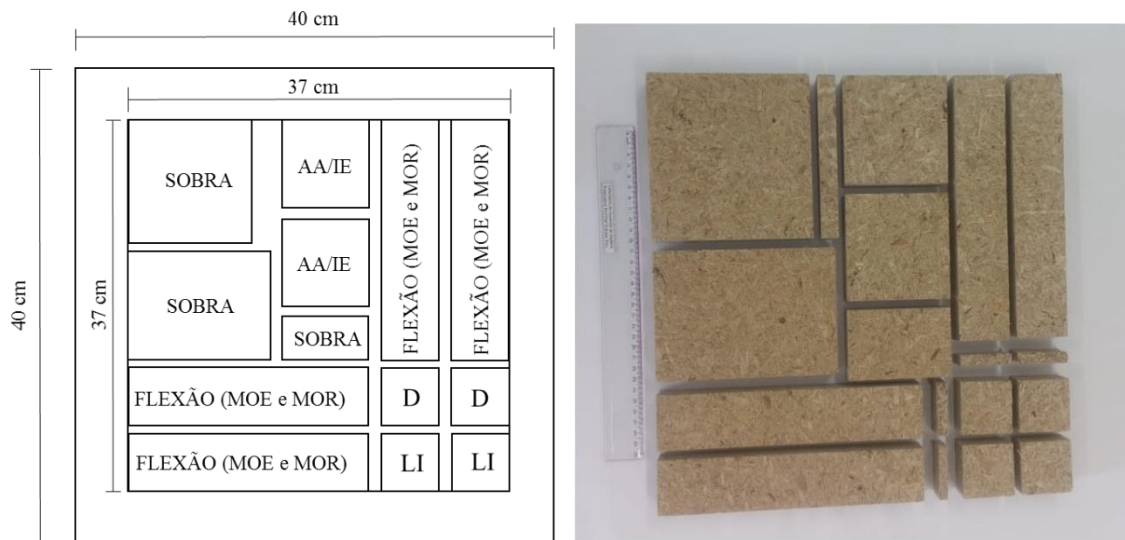
3.3.4 Parâmetros utilizados.

Para o processo de prensagem foram utilizados os parâmetros de temperatura de 180 °C, pressão específica de 30 kgf/cm² e tempo de 18 minutos.

3.3.5 Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Para a determinação das propriedades físicas e mecânicas os painéis foram esquadrejados em corpos de prova (Figura 11). Nesse processo foram retiradas as bordas, sendo que essas interferem significativamente nas propriedades dos painéis analisados.

Figura 11 - Layout para a retirada dos corpos de prova.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O número de corpos de prova retirado por painel foi de: 2 corpos de prova para o ensaio de absorção d'água e inchamento em espessura; 4 para o ensaio de flexão estática; 2 para densidade e 2 para ligação interna.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizada análise estatística em todos os conjuntos de dados, o experimento foi conduzido em arranjo fatorial 4x4 com fatores qualitativos (Diferentes espécies) e quantitativos (Diferentes densidades). Para testar a aderência de dados a distribuição normal, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, por sua vez para testar a homogeneidade de dados foi realizado o teste de Bartlett. Devido à falta de homogeneidade e normalidade dos dados, foi necessária a realização de transformação do tipo Box-Cox para as variáveis densidade, ligação interna, inchamento em espessura em 2 e 24hrs e geometria das partículas.

Para as demais variáveis após a verificação da normalidade e homogeneidade dos dados foi realizada a análise da variância, nos casos em que constatou-se interação foi realizada análise de regressão do fator qualitativo dentro do quantitativo, em contrapartida para os casos em que não houve interação entre as variáveis foi realizado o teste de médias de Scott-Knott para os fatores qualitativos.

Todos os testes foram realizados com 95% de significância, utilizando o software Sisvar 5.6 Build 77 desenvolvido por Ferreira (2011) e a plataforma Action do programa Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Pinus* spp

Para a obtenção da densidade básica da madeira de *Pinus* spp foi realizada uma pesquisa na literatura por diversos trabalhos (Tabela 12), com a finalidade de obter a um valor médio coerente para o *Pinus* spp., já que no trabalho em questão utilizou-se um mix de espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Tabela 12 - Valores da densidade básica para madeira de *Pinus* spp.

Espécie	Densidade básica (g/cm ³)	Idade (anos)	Procedência	Autor (es)
<i>Pinus taeda</i>	0,332	8	Correia Pinto - SC	Mendes, 1993
	0,375	9	Telêmaco Borba- PR	Barrichello et al., 1977
	0,349	10	Correia Pinto - SC	Mendes, 1993
<i>Pinus elliotti</i>	0,319	7	Lages – SC	Higa et al., 1973
	0,326	9	Lages – SC	Higa et al., 1973
	0,420	13	Rio de Janeiro – RJ	Batista et al., 2007
Média	0,353			

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

4.2 GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS

As dimensões das partículas são de relevante importância na qualidade dos painéis de madeira, sendo o seu tipo e tamanho os principais fatores a serem considerados. (KOLLMAN et al. 1975; MOSLEMI, 1974; MALONEY et. Al., 1976). Desse modo, as dimensões das partículas são apresentadas na tabela 13.

Tabela 13 - Valores de espessura, comprimento e largura das partículas de madeira.

Espécie	Espessura	Comprimento	Largura
		(mm)	
<i>O.pyramidale</i> 10 anos	1,11	24,08	5,94
<i>O.pyramidale</i> 6 anos	1,18	24,91	4,95
<i>Pinus</i> spp	0,74	19,41	3,55

Produzido pelo Autor 2019. mm: Milímetros.

Após a obtenção das medidas do comprimento, largura e espessura das partículas, foram calculados o índice de esbeltez, razão de planicidade e a área superficial das partículas (Tabela 14).

Tabela 14 - Valores médios do índice de esbeltez, razão de planicidade e área superficial.

Espécie	I/E	Pla	AS (cm ² /g)
		(mm)	
<i>O.pyramidale</i> 10 anos	32,21 a (35,70)	7,71 a (60,50)	11,77 a (50,19)
<i>O.pyramidale</i> 6 anos	28,72 a (43,77)	6,10 a (63,69)	10,73 a (45,01)
<i>Pinus</i> spp	44,20 b (74,37)	7,71 a (67,43)	20,14 b (56,73)

Elaborado pelo autor, 2019. Médias seguidas de letras diferentes apresentam diferença significativa pelo teste Scott-knott ao nível de 95% de confiança. IE: Índice de esbeltez, Pla: Razão de planicidade, AS: Área superficial. CV: Coeficiente de variação, entre parênteses.

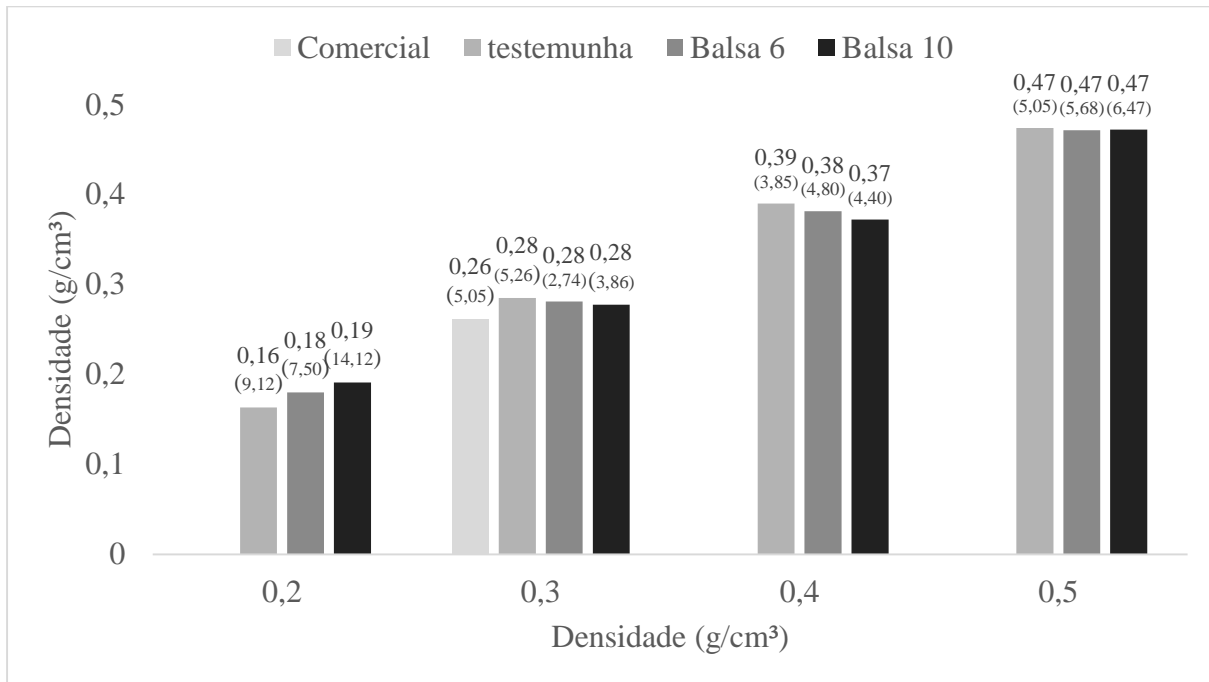
O valor de IE de 32,07 encontrado por Iwakiri (1989), fica abaixo do IE encontrado no presente estudo para o *Pinus*, já quando comparamos com a espécie *O. pyramidale* com 6 anos os valores se assemelham. De acordo com Alberto (1992), índices de esbeltez maiores são mais desejáveis, uma vez que em geral conferem aos painéis maior resistência mecânica e estabilidade dimensional.

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

4.3.1 Densidade do painel

As médias de densidade aparente obtidas no presente estudo ficaram abaixo das densidades nominais, que eram de 0,2;0,3;0,4 e 0,5 g/cm³ (Figura 12). Esta diferença entre a densidade aparente e a densidade nominal está relacionada às condições operacionais em nível laboratorial, uma vez que nesse ambiente não é possível reproduzir a precisão do processo industrial, o que ocasiona entre outros, uma perda de partículas durante o manuseio nas etapas anteriores à formação do painel na prensa à quente (SANTOS et al., 2009 e IWAKIRI et al., 2012).

Figura 12 - Valores de densidades dos painéis.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019. Coeficiente de variação entre parênteses.

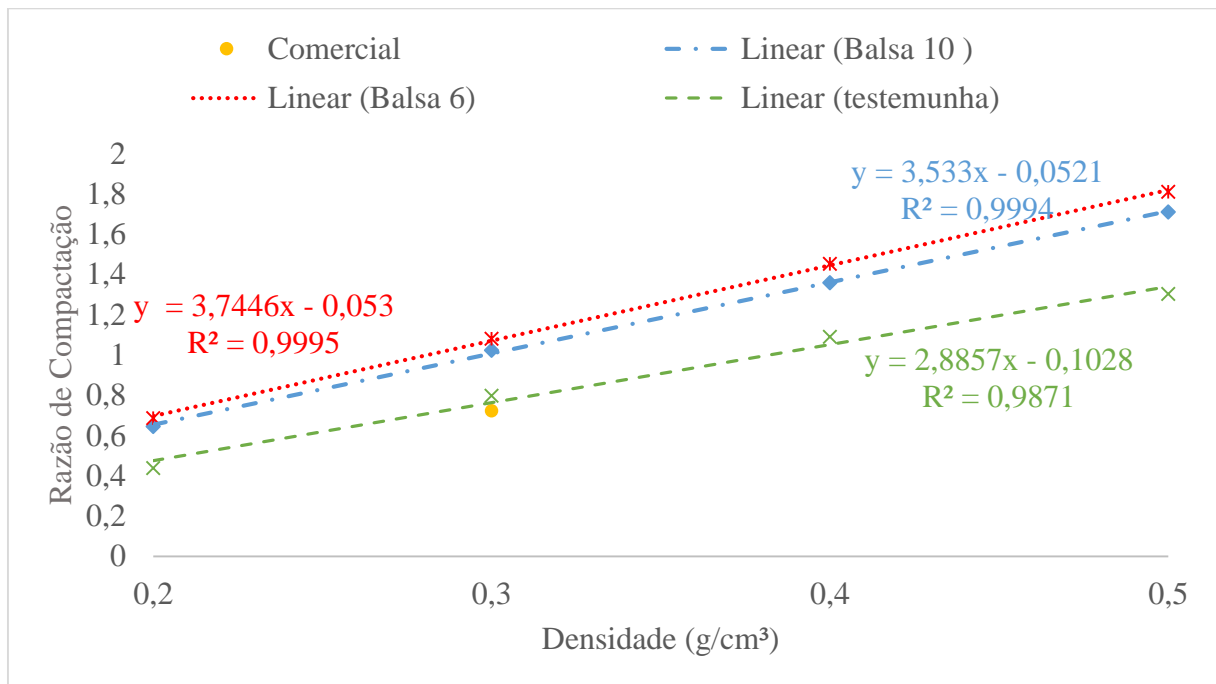
Outro fator que pode ter contribuído para a diferença obtida foi o deslizamento lateral de partículas, que ocasiona um aumento nas dimensões dos painéis após a prensagem. Como os painéis são de baixa densidade e espessura de 30mm, no momento do esquadreamento dos corpos de prova, pode ter ocorrido uma perda por arrancamento de partículas laterais.

As densidades dos painéis foram classificados como de baixa densidade ($<0,60\text{g/cm}^3$), segundo a norma CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD-CS, 1968).

4.3.2 Razão de compactação

Para a variável razão de compactação a análise estatística demonstrou que houve interação entre a espécie e a densidade (Figura 13). Foram observados valores entre 0,44 (tratamento testemunha densidade $0,2\text{g/cm}^3$) até 1,81 (tratamento Balsa 6 anos densidade $0,5\text{g/cm}^3$). De acordo com Maloney (1993) a faixa ideal para a razão de compactação é de 1,3 a 1,6, painéis com valores de razão de compactação superiores a 1,6 tendem a apresentar uma piora das propriedades físicas e melhora nas propriedades mecânicas, em contrapartida painéis com valores inferiores a 1,3 apresentam redução nas propriedades mecânicas.

Figura 13 - Análise de Regressão para a variável razão de compactação



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Observa-se que de acordo com a literatura os tratamentos com as densidades de 0,4 e 0,5 g/cm³ são os que se enquadram dentro dos valores ideais para razão de compactação e teoricamente, teriam um maior equilíbrio e estabilidade para ambas as propriedades, físicas e mecânicas, contudo, dentro do próprio painel comercial, com densidade 0,3 g/cm³ é percebido que a razão de compactação foi inferior ao do painel de *O. pyramidale* para a mesma densidade.

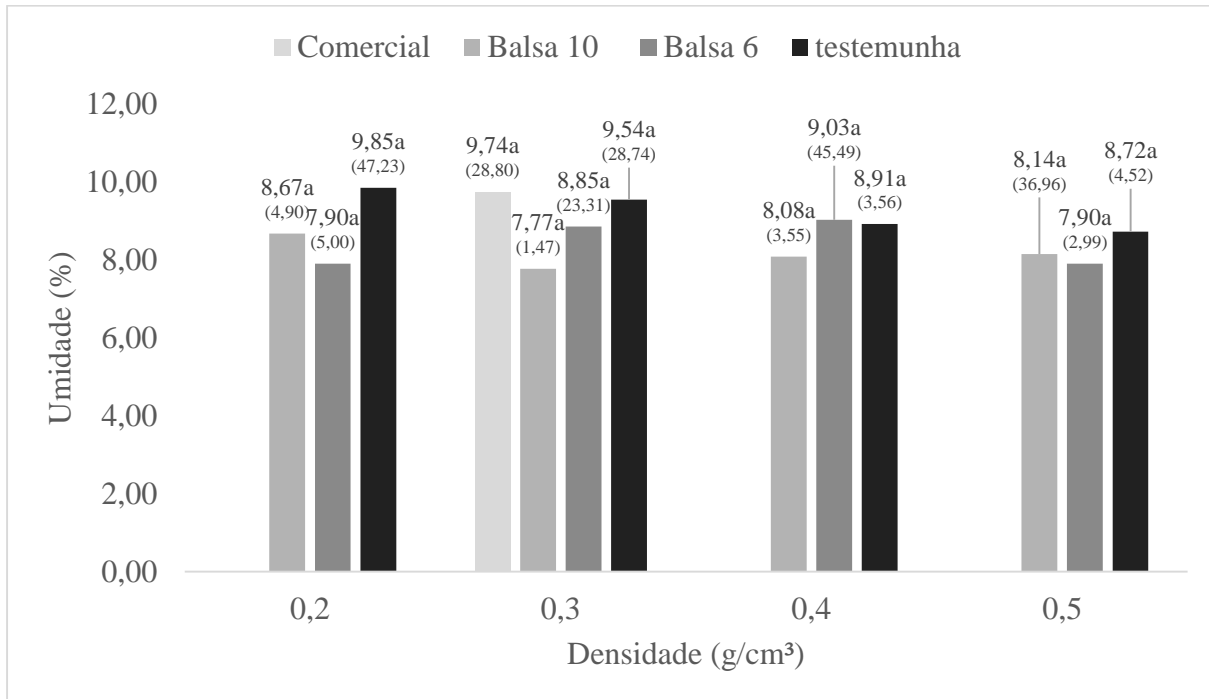
4.3.3 Umidade dos painéis

Para a umidade a análise estatística não demonstrou interação entre as variáveis densidade e espécie, não houve diferença estatística para a umidade nas diferentes densidades avaliadas (Figura 14). Os resultados variaram de 7,77% (*O. pyramidale* 10 anos densidade 0,3g/cm³) até 9,85% (Testemunha densidade 0,2g/cm³).

Os painéis deveriam atingir a umidade de equilíbrio de 12% pelo seu condicionamento em temperatura e umidade relativa constante, (1999 apud Trianoski, 2010), esse autor cita que essa redução no teor de umidade é devido a transformação da madeira em partículas, posteriormente a mistura de adesivos, parafinas e pela aplicação de altas temperaturas e

pressão durante a prensagem do painel, fazendo com que esses painéis percam a facilidade de estabilização com o ambiente.

Figura 14 - Valores de teor de umidade para diferentes densidade dos painéis



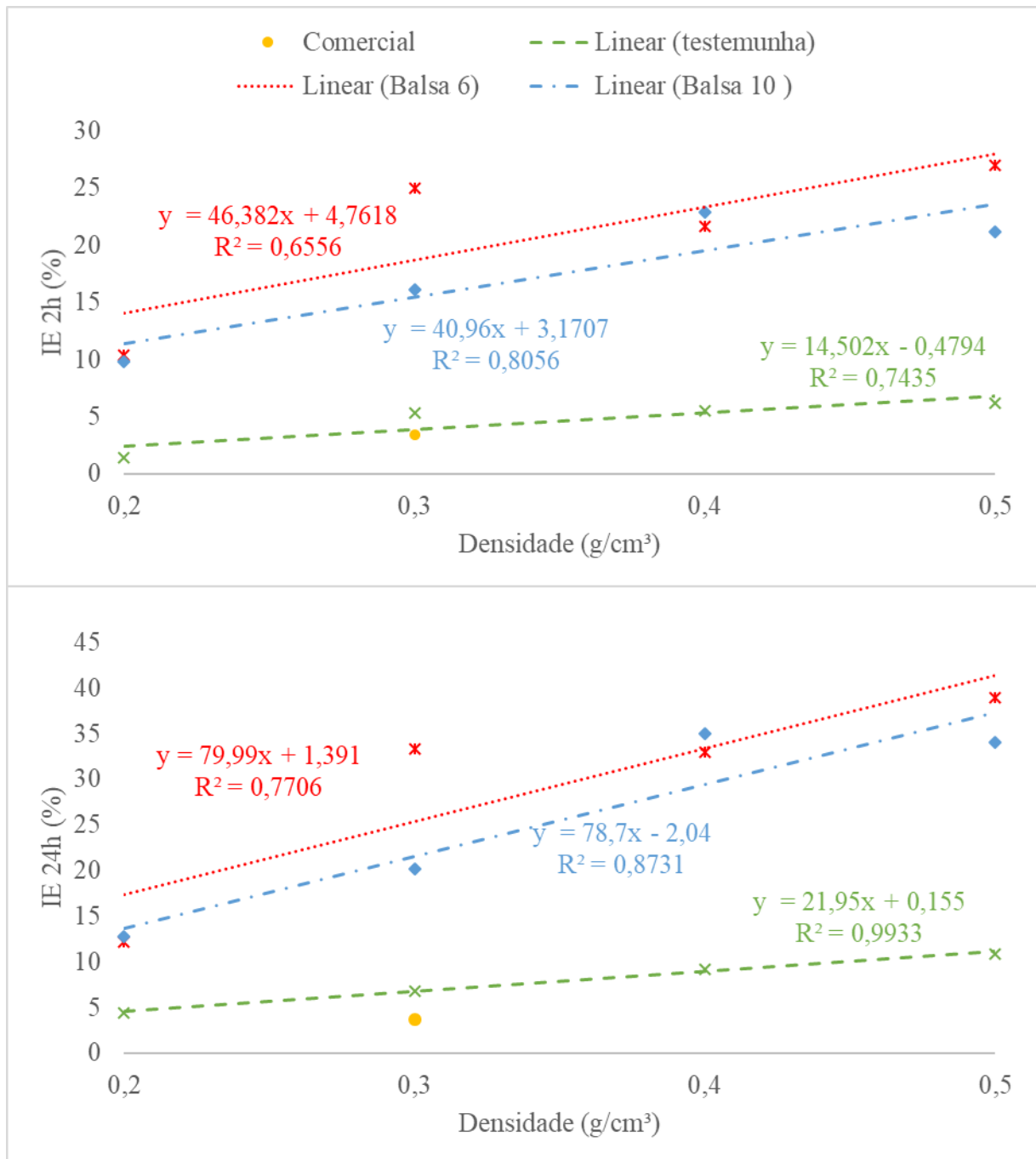
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019. Coeficiente de variação entre parênteses.

4.3.4 Inchamento 2 e 24hrs

Para o ensaio de inchamento em espessura as médias apresentaram valores de 1,4% (testemunha com densidade de 0,2g/cm³) até 26,9% (balsa 6 anos com densidade 0,5g/cm³) para o ensaio de 2 horas de imersão é de 3,7% (comercial com densidade de 0,3g/cm³) até 39,0% (balsa 6 anos com densidade 0,5g/cm³) para o ensaio de 24 horas de imersão (Figura 15). Em todas as composições de painel estudadas, tanto para o ensaio de 2 horas e 24 horas, ocorreu um aumento em praticamente todos os tratamentos conforme o aumento da densidade.

Isso pode ter ocorrido pela maior razão de compactação encontrada nesses painéis, resultando em um maior inchamento higroscópico da parede celular, pelo maior número de sítios de sorção e maior liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem (KELLY, 1977; MELO, 2013).

Figura 15 - Análise de regressão para as variáveis inchamento em espessura em 2 e 24 horas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

De acordo com Colli et al. (2010) em seu trabalho com painéis de baixa densidade (0,36 g/cm³) com a madeira paricá (*Schyzolobium amazonicum*) e com diferentes proporções de fibras do côco, encontraram valores de 11,26 e 9,12% com 6 e 8 % de resina (UF) para inchamento em 2 horas, e de 13,11 e 10,46% para 24 horas respectivamente. Esses valores

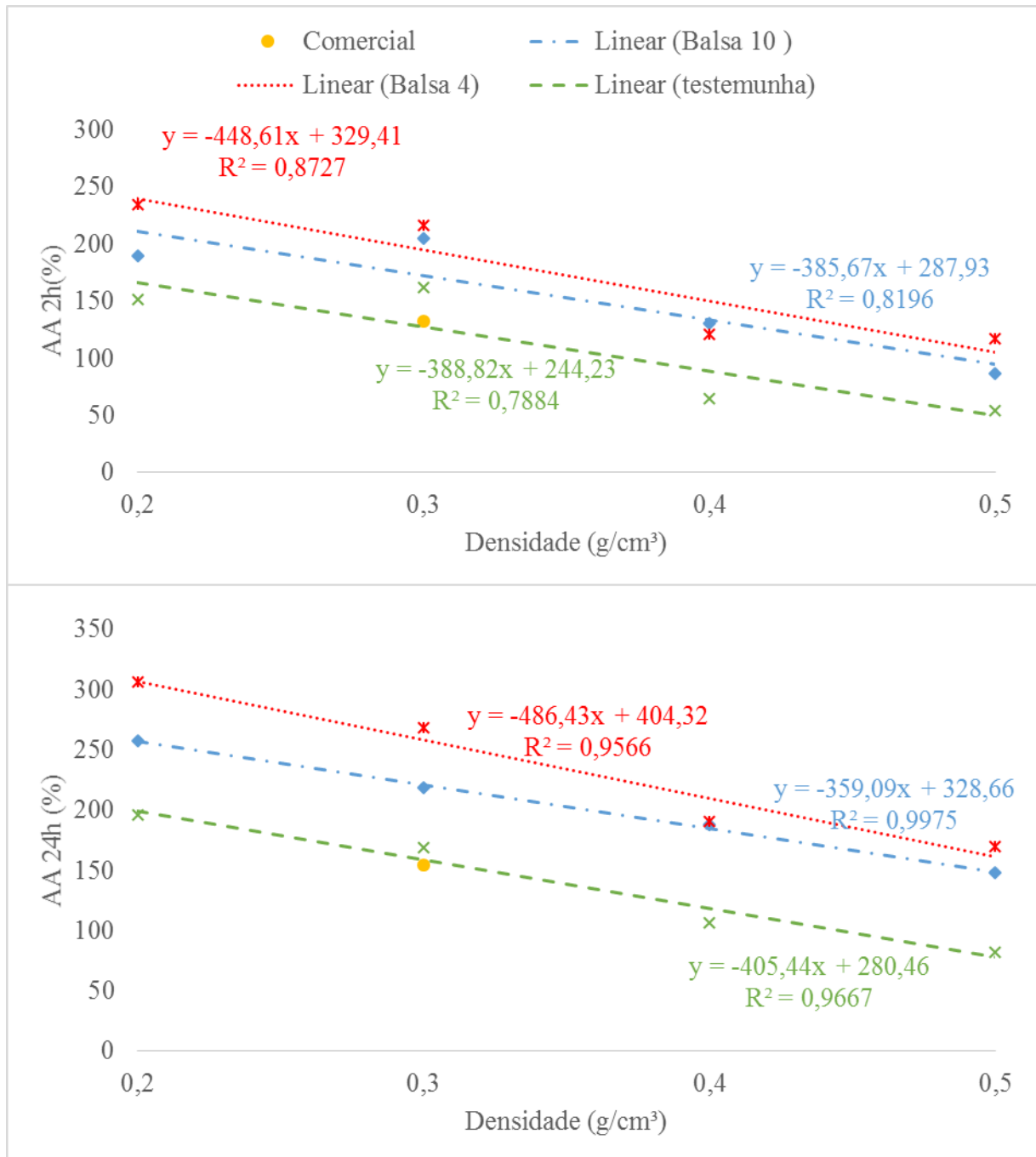
foram superiores quando comparados com o tratamento testemunha, já quando comparados com os tratamentos utilizando a espécie *O. pyramidale* observa-se que houve uma maior absorção para ambas as avaliações. Iwakiri (2005) em seu trabalho com diferentes densidades e resinas utilizando *Pinus* spp., encontrou o valor de 27,419 e de 29,999 % para 2 e 24h respectivamente. Esses valores são superiores aos encontrados no estudo para 2hrs e inferiores para a maioria das avaliações com 24h. Mendes et al. (2014) em seu trabalho com painéis de baixa densidade com diferentes clones de *Eucalyptus*, utilizando 6 % de adesivo e densidade de 0,6 g/cm³, encontraram valores variando de 13,3 a 28,8% para inchamento em espessura em 2h e 29,9 a 40,8% para 24hrs de inchamento em espessura, esses resultados se assemelham a maioria dos resultados do presente trabalho, principalmente para as densidades de 0,4 e 0,5 g/cm.

4.3.5 Absorção 2 e 24hrs

Para o ensaio de absorção de água em 2h, as médias obtidas no estudo foram de 54,6% (tratamento testemunha com densidade de 0,5g/cm³) até 235% (tratamento balsa 6 anos densidade 0,2 g/cm³) (Figura 16). Por sua vez, para o ensaio de absorção de água em 24hrs em imersão, variou de 82,3% (testemunha densidade 0,5g/cm³) até 306,6% (balsa 6 anos densidade 0,2 g/cm³), a análise estatística demonstrou interação entre as variáveis densidade do painel e espécie.

Em ambas as avaliações observou-se uma menor absorção de acordo com o aumento na densidade dos painéis. Esse comportamento foi observado em praticamente todos os tratamentos. Que pode ter ligação com a maior compactação dos painéis nas maiores densidades, fazendo com que se tenha menos porosidade, resultando em menos absorção.

Figura 16 - Análise de regressão das variáveis AA2h e AA24h.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Colli et al. (2010) em seu trabalho com painéis de baixa densidade ($0,360\text{g/cm}^3$) com a madeira paricá (*Schyzolobium amazonicum*) e com diferentes proporções de fibras do côco, encontraram valores de 228,50 e 211,83% de absorção de água com 6 e 8% de resina respectivamente, esses valores se assemelham aos encontrados nos tratamentos com densidade de $0,3\text{ g/cm}^3$. Soares et al. (2017), estudando painéis de baixa densidade utilizando madeira de *Eucalyptus* e em mistura com diferentes proporções de bagaço de cana, encontrou

valores médios de 111,5% e 132,8% para absorção em 2 e 24hrs, respectivamente. Já Scatolino et al.(2017) relata valores para absorção de água, após 2 e 24hrs de imersão, de 120,5% e 138%, respectivamente, em painéis de baixa densidade produzidos com a madeira de *Eucalyptus*.

Esses valores assemelham-se aos do presente estudo nas densidades de 0,3; 0,4 e 0,5g/cm³ em alguns tratamentos. Já Iwakiri (2005) em seu trabalho com diferentes densidades e resinas utilizando *Pinus* spp., encontrou o valor 124,016 % para absorção em 2hrs, valores que se assemelham aos encontrados para as densidades de 0,4 e 0,5 g/cm³ para a espécie balsa em ambas as idades. Mendes et al. (2014) encontraram valores variando de 35,7 a 63,9 para absorção em 2hrs e 94,1 a 108,8% para 24hrs de absorção em água, em seu trabalho com painéis de baixa densidade com diferentes clones de *Eucalyptus*, utilizando 6 % de adesivo e densidade de 0,6g/cm³, esses valores são superiores aos do presente estudo, apenas o tratamento testemunha obteve resultado superior para a densidade 0,5g/cm³.

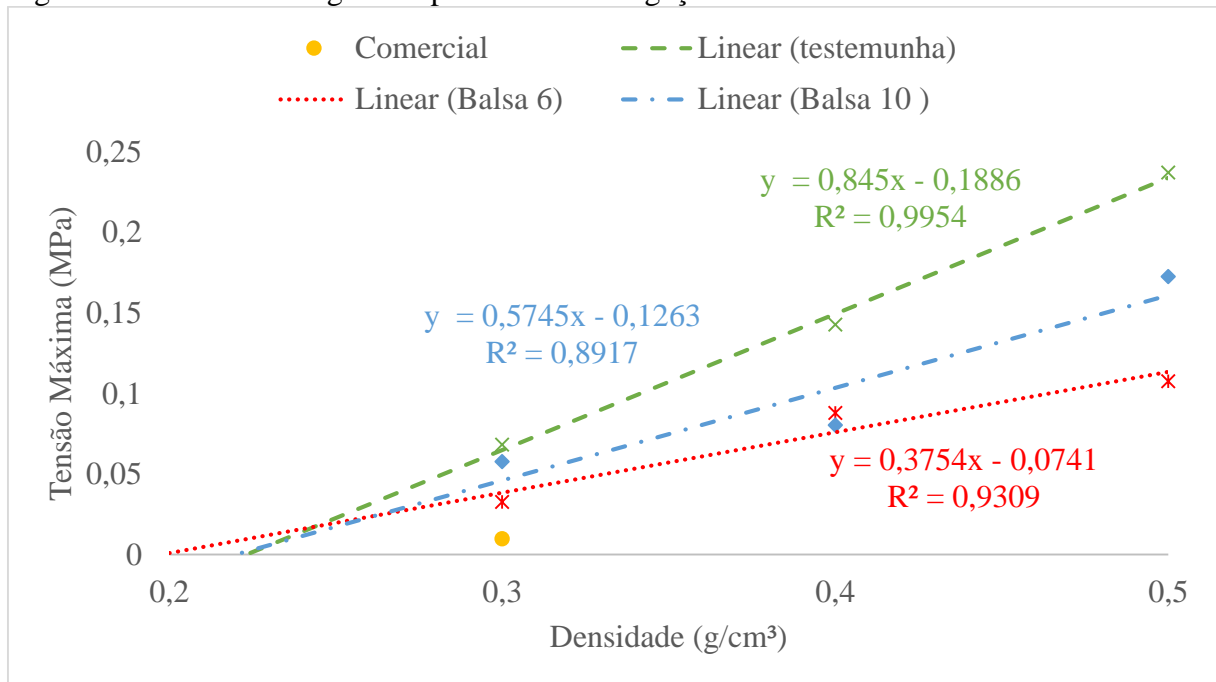
4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.4.1 Ligação Interna

A análise estatística demonstrou interação entre as variáveis avaliadas para o teste de ligação interna (Figura 17). A espécie *Pinus* spp., utilizada como testemunha apresentou valores superiores para todos os tratamentos estudados. Isso demonstra que alguns fatores podem ter sido decisivos para este resultado, como por exemplo a geometria das partículas, já que a madeira de *O. pyramidale* foi processada em um picador industrial utilizado para a espécie *Pinus* spp. A estrutura anatômica da madeira de *O. pyramidale* é altamente porosa, o que reflete na sua baixa densidade, conseqüentemente o ângulo das facas do cerpilhador regulado para partícula industrial de *Pinus*, não foi o ideal para obter uma geometria das partículas melhorando a propriedade de ligação interna

Outro fator, seria o teor de resina aplicado de 12% em ambos os tratamentos, só que, existe uma diferença na quantidade de material em cada composição por espécie, no caso a espécie *O. pyramidale* que apresenta densidade de 0,26 g/cm³ de média, terá mais material na formação do colchão que a espécie *Pinus* spp., com densidade média de 0,36 g/cm³, Isso corrobora com a teoria de que o colchão de *O. pyramidale* recebe uma menor camada de resina nas partículas, bem como, ocorre uma maior absorção da resina devido a elevada porosidade, e conseqüentemente irá apresentar uma menor resistência a ligação interna.

Figura 17 - Análise de regressão para a variável ligação interna.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Quando comparamos com o trabalho de Colli et al. (2010) com painéis de baixa densidade ($0,36\text{g/cm}^3$) com a madeira Paricá (*Schyzolobium amazonicum*) e com diferentes proporções de fibra de côco estes encontraram 0,15 e 0,21 MPa para painéis com 6 e 8% de resina respectivamente, esses valores se assemelham aos do presente estudo para as densidades de 0,4 e 0,5 g/cm^3 . Iwakiri (2005) em seu trabalho com diferentes densidades e resinas utilizando *Pinus* spp., encontrou o valor de 0,19 Mpa para painéis com densidade de $0,65\text{g/cm}^3$ e teor de resina de 8% UF, valores que se assemelham aos encontrados para a densidade de $0,5\text{g/cm}^3$ do presente estudo. Mendes et al. (2014) encontraram valores variando de 0,14 a 0,26 MPa para ligação interna em seu trabalho com painéis de baixa densidade com diferentes clones de *Eucalyptus*, utilizando 6 % de adesivo e densidade de $0,6\text{g/cm}^3$, esses valores assemelham-se aos do presente estudo para a densidade de $0,5\text{g/cm}^3$, para a espécie de balsa 10 anos e testemunha.

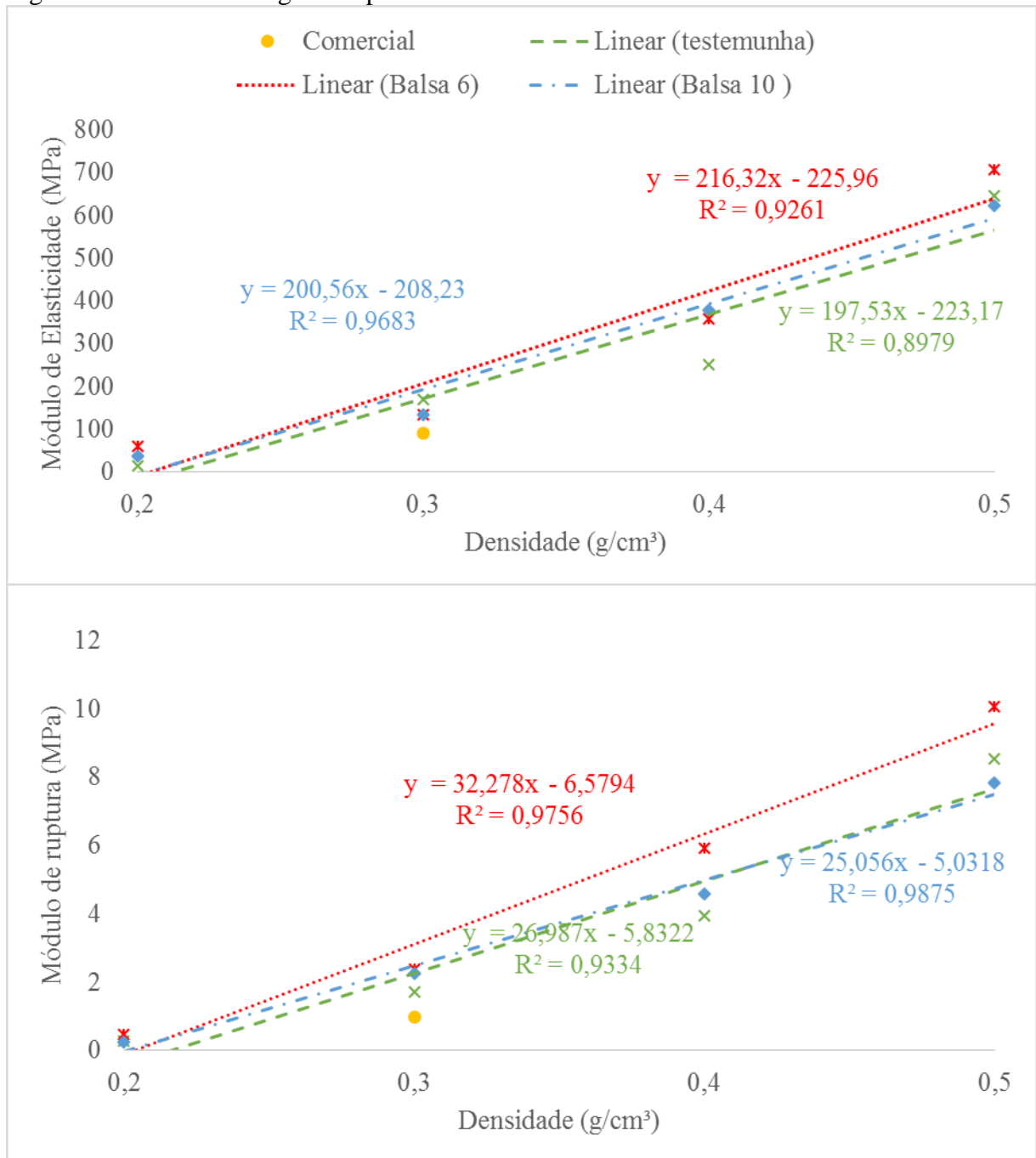
4.4.2 Flexão estática

Para MOE e MOR a análise estatística apontou interação entre as variáveis densidade e espécie (Figura 18). As médias obtidas para MOE variaram de 15,37 MPa (*Pinus* spp testemunha com densidade $0,2\text{g/cm}^3$) até 706,03 MPa (*O. pyramidale* 6 anos com densidade

0,5g/cm³). Por sua vez, as médias para MOR variaram de 0,26 Mpa (*O. pyramidale* 10 anos com densidade 0,2g/cm³) até 10,07 MPa (*O. pyramidale* 6 anos com densidade 0,5g/cm³). Para o MOE observa-se um aumento da rigidez à medida que ocorre o aumento na densidade dos painéis.

A espécie *O. pyramidale* mesmo apresentando indicadores não favoráveis quanto a geometria de suas partículas, demonstrou resultados satisfatórios quando comparados com os painéis testemunha e comercial, e em muitos momentos superando os mesmos. O mesmo comportamento foi observado para o módulo de ruptura, que seguiu a mesma tendência observada para o módulo de elasticidade. Analisando as diferentes espécies e densidades percebe-se que a madeira de *O.pyramidale* com 6 anos demonstrou o melhor desempenho de forma geral em ambas as avaliações de MOE e MOR.

Figura 18 - Análise de regressão para as variáveis MOE e MOR.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os resultados demonstraram valores satisfatórios para painéis de baixa densidade, apresentando alguns valores para MOE e MOR superiores aos de Longo et al (2015), que encontrou 631 e 552 MPa para MOE e 4,6 e 2,1 MPa para MOR para a espécie *Cedrelinga cateniformis* (Cedro) e *Mezilaurus itauba* (Itaúba) respectivamente, em seu trabalho utilizando espécies Tropicais para produção de painéis de média densidade com 0,65 g/cm³.

Colli et al. (2010) em seu estudo com painéis de baixa densidade ($0,36\text{g/cm}^3$) com a madeira paricá (*Schyzolobium amazonicum*) e com diferentes proporções de fibras do côco encontraram valores de 191,8 e 258,6 MPa para MOE e 3,00 e 4,10 MPa para MOR em painéis utilizando 6 e 8% de resina respectivamente, os valores são inferiores aos encontrados no presente estudo para as densidades acima de $0,4\text{ g/cm}^3$. Esses mesmos valores acima de $0,4\text{ g/cm}^3$ de densidade superam os valores encontrados por Iwakiri (2005), que foram de 267,087 MPa para MOE e 0,685 para MOR, para o tratamento com $0,65\text{ g/cm}^3$ de densidade e 8% de resina UF, em seu trabalho com painéis de *Pinus* com diferentes densidades e adesivos.

Mendes et al. (2014) encontraram valores de MOE variando de 927,5 a 1157,6 MPa e para MOR 3,0 a 6,2 em seu trabalho com painéis de baixa densidade com diferentes clones de *Eucalyptus*, utilizando 6 % de adesivo e densidade de $0,6\text{ g/cm}^3$, para MOE os valores foram superiores aos do presente estudo, para MOR a densidade de 0,5 apresentou resultados superiores para todos os tratamentos.

5 CONCLUSÕES

- A densidade da madeira de *O. pyramidale* foi de 0,254g/cm³ e 0,270g/cm³ para as idades de 6 e 10 anos respectivamente. Essas densidades encontradas para a madeira foram adequadas para a produção dos painéis de baixa densidade, proporcionando uma resistência adequada e ao mesmo tempo leveza aos painéis produzidos.

- Para a propriedade física absorção de água, os painéis com maiores densidades foram os que apresentaram os melhores resultados, já para inchamento ocorreu o inverso, onde os painéis menos densos apresentaram os melhores resultados, fator ligado diretamente a elevada quantidade de poros encontrada na madeira.

- Para as propriedades mecânicas módulo de elasticidade e ruptura, os painéis de *O. pyramidale* com idade de 6 anos, apresentaram os melhores resultados. Já para o teste de ligação interna o painel testemunha demonstrou-se melhor.

- A espécie *O. pyramidale* apresenta potencial como espécie alternativa para a produção de painéis de madeira, especialmente quando comparada a espécie tradicionalmente utilizada como o *Pinus* spp.

6 RECOMENDAÇÕES

- Em trabalhos futuros alterar a porcentagem de adesivo ou alterar a viscosidade, a fim de melhorar as propriedades dos painéis;
- Aumentar a porcentagem de parafina, com o objetivo de melhorar as propriedades físicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTO, M. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”**. 1992. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.
- BARRICHELO, L. E. G. et al. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF**, Monte Alegre, n. 15, 1977. p.1-14.
- BATISTA, D. C. et al. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* f. Muell. **CERNE**, Lavras, v. 13, n. 2, 2007. p.178-187.
- COLLI, A. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)1. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p.333-338, 01 jan. 2010.
- Ferreira, D. F. Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.
- HIGA, A. R; KAGEYAMA, P. Y; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. **IPEF**. n.7, p.79-91, 1973.
- IBÁ. Relatório Anual Ibá 2017. Brasília: **Indústria Brasileira de Árvores**, 2017. Acessado em: 07 de agosto 2018
- IWAKIRI, S. A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus. 1989. 129p. 1989. Tese de Doutorado. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – **Universidade Federal do Paraná**, Curitiba.
- IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v.1, n.1-2, p.23-28, 2000.
- IWAKIRI, S. Painéis de Madeira Reconstituída. Curitiba: **FUPEF**, 2005, p. 247
- IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (CINAMOMO) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18,n. 3, p. 465-470, 2012.
- KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. v.10, p. 66, 1977.
- KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A.; Principles of wood science and technology II. **Wood based materials**, 703p. New York, USA, 1975.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F; ALENCAR, J.C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA. 1979.

MACEDO, A. R. P., ROQUE, C. A. L. Painéis de Madeira. **BNDES**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 02 fevereiro 2019.

MALONEY, T. M. et al. Composition board from standing dead white pine and dead lodgepole pine [*Pinus monticola* and *Pinus contorta*]. **In: Proceedings**-Washington State University Symposium on Particleboard (USA). 1976.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681 p.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. New York, Van Nostrand Reinhold 1992, 453 p.

MATTOS, R.L.G., GONÇALVES, R.M., CHAGAS, F.B., 2008. Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas. *BNDS Setorial* **27**: 121-156.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 2, p. 152-175, 2013.

MENDES, C. J.; Influência da idade em *Pinus taeda* sobre a qualidade da madeira para a produção de celulose. **IPEF**, Piracicaba, v.9, n.27, p.81 – 90, 1993.

MENDES, R. F. et al. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.329-336, jun. 2014.

MOSLEMI, A. A. Particleboard. Southern Illinois University Press, v.2, p.245, 1974.

RIZZINI, C.T. **Árvores e Madeiras do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. Rio de Janeiro, Ed. Edgar Blücher. 1978.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 437-446, 2009.

SANTOS, R. C. et al. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de pet. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p.149-158, 2011.

SCATOLINO, M. V. et al. *Eucalyptus* wood and coffee parchment for particleboard production: physical and mechanical properties. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017.

SOARES, S. S. et al. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 8, n. 2, p. 64–73, 5 maio 2017.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira Aglomerada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2010. 262p.