



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLEIBIANE DA SILVA MARTINS

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E PRODUÇÃO DE PAINÉIS
COMPENSADOS DA MADEIRA DE *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain DE FLORESTAS
MANEJADAS NO ESTADO DO PARÁ**

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

Orientadora: Prof.^a Dra. Poliana D'Angelo Rios.
Co-orientador: Prof. Dr. Osmar José Romeiro de Aguiar.

**LAGES – SC
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da

Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,

com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Martins, Cleibiane da Silva
Caracterização Tecnológica e Produção de Painéis
Compensados da Madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain de
Florestas Manejadas no Estado do Pará / Cleibiane da Silva Martins.
-- 2021.
96 p.

Orientadora: Polliana D' Angelo Rios
Coorientador: Osmar José Romeiro de Aguiar
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2021.

1. Estimativa de idade. 2. Madeiras amazônicas . 3.
Propriedades tecnológicas. 4. Compensados. I. Rios, Polliana
D' Angelo . II. Aguiar, Osmar José Romeiro de . III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

CLEIBIANE DA SILVA MARTINS

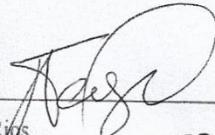
**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E PRODUÇÃO DE PAINÉIS
COMPENSADOS DA MADEIRA DE *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain DE
FLORESTAS MANEJADAS NO ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

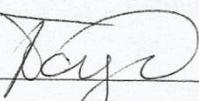
Banca Examinadora

Orientadora:

Profª Dra. Poliana D'Angelo Rios

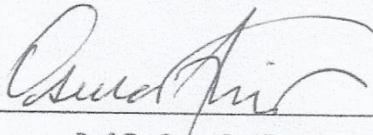

RODRIGO F. TEREZO
Universidade do Estado de Santa Catarina
Professor e Pesquisador
PPGEF - CAV - UDESC
Mat. 395.387-4

Membro:


Prof. Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo

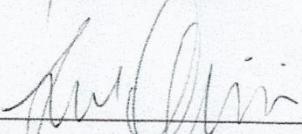
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:


Prof. Dr. Osmar José Romeiro de Aguiar

Universidade do Estado do Pará

Membro:


Prof. Dr. Leonardo da Silva Oliveira

Universidade Federal de Pelotas

Lages, 30 de agosto de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço à DEUS pelo dom da vida, pelas oportunidades de aprendizado, e por me dar força e coragem para superar as dificuldades e alcançar os meus objetivos.

Aos meus pais Edicyra Silva e Cleiber Martins por todo apoio e incentivo.

Aos meus avós Ana Maria Ribeiro, Jorge Silva, Ana Claíde e Gilberto Martins (*in memoriam*) por todo o carinho e por sempre me ajudarem nos momentos em que mais precisei, em especial ao meu avô Gilberto Martins a quem dedico esta dissertação, obrigada por todo o apoio e por sempre ter acreditado em meu potencial, o senhor estará para sempre em meu coração.

Aos meus tios Luana Tavares e Dilson Tavares pelo carinho e incentivo.

Ao meu namorado Jonatan abreu pelo apoio e companheirismo.

A minha orientadora professora Dr. Polliana Rios, pelo apoio incondicional, pela orientação, conselhos, ensinamentos, paciência e amizade, você é uma pessoa iluminada, muito obrigada.

Ao professor co-orientador Dr. Osmar Aguiar pelo auxílio na etapa de coleta do material, por todo o conhecimento repassado, incentivo e amizade, obrigada.

Ao professor Msc. Madson Sousa pelo incentivo e amizade.

Ao professor Dr. Rodrigo Terezo pelo suporte e contribuição.

A Eng.^a Sabrina Benmuyal pela ajuda na colheita das árvores de limãozinho.

Ao bolsista Luran Muzeka pelos momentos de descontração e por toda a ajuda na realização deste trabalho.

Ao Grupo Arboris por todo o apoio e doação do material, a ajuda de vocês foi essencial para a realização deste trabalho.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, campus de Lages pela oportunidade de aprendizado e qualificação.

À PROMOP, pela concessão da bolsa.

Aos meus amigos que fiz durante a vida, e que torceram para que eu finalizasse este estudo, obrigada pelo apoio e amizade.

A todas as demais pessoas que torceram e me ajudaram a concluir este trabalho. Muito obrigada!

*“Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte,
não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua
vara e o teu cajado me consolam.”*

Salmos 23:4

RESUMO

MARTINS, C. S. Caracterização tecnológica e Produção de Painéis Compensados da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (urb.) Alain de florestas manejadas no estado do Pará. 2021. p. 96 Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Linha de Pesquisa: Produção Florestal e Tecnologia da Madeira) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages – SC, 2021.

O Bioma amazônico é considerado um centro de elevada diversidade de espécies florestais que em sua maioria possuem poucos ou quase nenhum conhecimento sobre suas características de uso. Contudo devido à crescente demanda por madeiras, muitas espécies com propriedades similares às tradicionais, têm sido introduzidas no mercado madeireiro, entre elas têm-se o *Zanthoxylum ekmanii* (Limãozinho), que ainda necessita de estudos tecnológicos para utilização adequada. Nesse contexto, os objetivos desse trabalho foram: determinar a idade, as propriedades tecnológicas, no sentido longitudinal e radial, assim como produzir painel compensado da espécie *Zanthoxylum ekmanii* em mistura com *Pinus* sp. As árvores de *Z. ekmanii* foram coletadas no município de Dom Elizeu, no estado do Pará, Brasil. As lâminas de pinus foram doadas por uma empresa situada no município de Lages, Estado de Santa Catarina. A estimativa da idade das árvores foi realizada por meio da contagem dos anéis de crescimento. Para as análises anatômicas, físicas e químicas foram retirados de cada árvore discos nas posições (0%, 50% e 100%) e amostras no sentido medula –casca. Na avaliação anatômica, a confecção de lâminas permanentes e provisórias seguiram os procedimentos do Iawa Committee (1989). As análises físicas e químicas da madeira foram determinadas conforme normas técnicas em amostras obtidas no sentido medula-casca e base-topo de cunhas opostas. Na produção de painéis, foi utilizado lâminas de *Zanthoxylum ekmanii* e sua mistura com *Pinus* sp. Para colagem dos painéis utilizou-se as resinas ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Posteriormente, os painéis foram avaliados por meio dos testes físicos e mecânicos em acordo com a norma brasileira. Como resultados, a idade média estimada para as árvores de *Zanthoxylum ekmanii* foi de 17 anos, variando de 14 a 20 anos, com diâmetro médio de 30 cm. Na descrição macroscópica, a espécie apresentou camadas de crescimento distintas; porosidade em anel semi-poroso, com poros visíveis, solitários e múltiplos em arranjos radiais. Os parâmetros anatômicos diâmetro dos vasos, comprimento da fibra, espessura da parede e altura e números de células dos raios aumentaram no sentido medula-casca. A densidade básica e aparente obtida foi de 0,42 g/cm³ e 0,50 g/cm³, sendo assim classificada como madeira leve. As contrações variaram no sentido longitudinal e radial, ocorrendo valores maiores na base e menores na medula com acréscimo até a região mais periférica do tronco. O fator anisotrópico de 1,77 classificou a madeira como estabilidade dimensional moderada. Os painéis homogêneos e intercalados com *Z. ekmanii*, apresentaram resultados de absorção de água, inchamento em espessura, recuperação em espessura, cisalhamento da linha de cola e de flexão estática paralela e perpendicular estatisticamente iguais ou superiores em relação à espécie referencial de *Pinus* sp. Todos os painéis atenderam aos requisitos do catálogo técnico da ABIMCI e da norma NBR ISO 12466-2, sendo assim, apresentam potencial na produção de painéis compensados de uso interno, intermediário e exterior.

Palavras-chave: Estimativa da idade. Madeiras amazônicas. Propriedades tecnológicas. Compensados.

ABSTRACT

The Amazon Biome is considered a center of high diversity of forest species, most of which have little or no knowledge about their characteristics of use. However, due to the growing demand for wood, many species with properties similar to the traditional ones have been introduced in the wood market, among them, there is the *Zanthoxylum ekmanii* (Lemon), which still needs technological studies for its proper use. In this context, the objectives of this work were: to determine the age, the technological properties, in the longitudinal and radial directions, as well as to produce plywood panel of the species *Zanthoxylum ekmanii* mixed with *Pinus* sp. *Z. ekmanii* trees were cut in the municipality of Dom Elizeu, in the state of Pará, Brazil. The pine blades were donated by a company located in the municipality of Lages, State of Santa Catarina. The estimation of the age of the trees was performed by counting the growth rings. For the anatomical, physical and chemical analyses, disks in the positions (0%, 50%, and 100%) and samples in the pith-bark direction were removed from each tree. In the anatomical evaluation, the making of permanent and temporary slides followed the procedures of the Iawa Committee (1989). The physical and chemical analyzes of the wood were determined according to technical norms in samples obtained in the pith-bark and base-top direction of opposite wedges. In the production of panels, sheets of *Zanthoxylum ekmanii* and its mixture with *Pinus* sp. For bonding, the panels, urea-formaldehyde, and phenol-formaldehyde resins were used. Subsequently, the panels were evaluated through physical and mechanical tests in accordance with the Brazilian standard. As a result, the estimated average age for *Zanthoxylum ekmanii* trees was 17 years, ranging from 14 to 20 years, with an average diameter of 30 cm. In the macroscopic description, the species presented distinct growth layers; semi-porous ring porosity, with visible, solitary, and multiple pores in radial arrangements. The anatomical parameters vessel diameter, fiber length, wall thickness and height, and the number of ray cells increased in the pith-bark direction. The basic and apparent density obtained was 0.42 g/cm³ and 0.50 g/cm³, thus being classified as light wood. Contractions varied in the longitudinal and radial directions, with higher values at the base and lower values in the medulla, with an increase to the most peripheral region of the trunk. The anisotropic factor of 1.77 classified the wood as moderate dimensional stability. The homogeneous panels interspersed with *Z. ekmanii* presented results of water absorption, thickness swelling, thickness recovery, glue line shear, and static parallel and perpendicular bending statistically equal or superior to the reference species of *Pinus* sp. All panels met the requirements of the ABIMCI technical catalog and the NBR ISO 12466-2 standard, thus, they have potential in the production of plywood panels for indoor, intermediate, and outdoor use.

Keywords: Estimated age. Amazonian woods. Technological properties. Plywood.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localização do Município de Dom Eliseu, Sudeste do Estado do Pará..... | 22 |
| Figura 2. Cubagem das árvores de <i>Z. ekmanii</i> pelo método de Smalian..... | 22 |
| Figura 3. Esquema de amostragem das árvores de <i>Z. ekmanii</i> | 23 |
| Figura 4. Discos nas posições 0%, 50% e 100% das árvores de <i>Z. ekmanii</i> | 24 |
| Figura 5. Esquema de coleta e caracterização da madeira. | 24 |
| Figura 6. Polimento dos discos de <i>Z. ekmanii</i> | 25 |
| Figura 7. Material e equipamento utilizado na análise anatômica. | 26 |
| Figura 8. Sequência de montagem das lâminas permanentes..... | 27 |
| Figura 9. Procedimentos necessários para a individualização das fibras e vasos..... | 28 |
| Figura 10. Esquema de retirada das amostras, no sentido medula-casca. | 30 |
| Figura 11. Procedimentos realizados durante a análise física da madeira..... | 31 |
| Figura 12. Processo de obtenção do material para as análises químicas..... | 32 |
| Figura 13. Procedimentos realizados durante as análises químicas da espécie..... | 33 |
| Figura 14. Características macroscópicas e microscópicas de <i>Z. ekmanii</i> | 37 |
| Figura 15. Características microscópicas de <i>Z. ekmanii</i> | 38 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| Figura 16. Laminação, secagem e preparo das lâminas. | 75 |
| Figura 17. Procedimentos realizados durante a caracterização das resinas..... | 78 |
| Figura 18. Esquema da passagem da cola em painéis compensados..... | 78 |
| Figura 19. Esquema de retirada dos corpos-provas no painel compensado. | 79 |
| Figura 20. Esquema dos procedimentos realizados na produção. | 81 |

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I

| | |
|--|----|
| Quadro 1. Variáveis anatômicas mensuradas em microscópico digital. | 29 |
| Quadro 2. Normas e análises químicas realizadas na madeira de <i>Z. ekmanii</i> | 32 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|----|
| Quadro 3. Plano experimental utilizado para produção dos painéis compensados. | 76 |
| Quadro 4. Compensados de <i>Z. ekmanii</i> e <i>pinus</i> sp. - Ensaios, Propriedades e Normas. | 80 |
| Quadro 5. Resistência da linha de cola ao esforço do cisalhamento e porcentagem..... | 80 |

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO I

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Idade estimada das árvores de <i>Z. ekmanii</i> , por meio do incremento. | 35 |
| Gráfico 2. Variação do comprimento, diâmetro e frequência dos vasos. | 41 |
| Gráfico 3. Variação do comprimento das fibras, diâmetro do lume e espessura. | 43 |
| Gráfico 4. Variação das pontuações intervasculares e raio-vasculares. | 46 |
| Gráfico 5. Variação da altura, largura, número de células (comprimento e largura). | 47 |
| Gráfico 6. Variação do teor de umidade e da densidade básica e aparente. | 50 |
| Gráfico 7. Variação da contração tangencial (A), radial (B), volumétrica (C). | 54 |

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Dados da cubagem das três árvores de <i>Z. ekmanii</i> pelo método de Smalian..... | 23 |
| Tabela 2. Dados do diâmetro e número de anéis de crescimento..... | 34 |
| Tabela 3. Resumo da análise de variância da espécie <i>Z. ekmanii</i> | 40 |
| Tabela 4. Valores médios do teor de umidade, densidade básica e aparente. | 49 |
| Tabela 5. Valores médios de contrações tangencial, radial e volumétrica. | 52 |
| Tabela 6. Variação da composição química no sentido longitudinal da madeira..... | 56 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| Tabela 7. Formulações da resina utilizada na produção dos compensados..... | 76 |
| Tabela 8. Médias dos valores das características de viscosidade, gel time. | 82 |
| Tabela 9. Propriedades físicas dos painéis compensados produzidos. | 83 |
| Tabela 10. Módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática. | 84 |
| Tabela 11. Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento. | 86 |
| Tabela 12. Propriedades físicas dos painéis compensados produzidos. | 87 |
| Tabela 13. Módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática dos painéis. | 88 |
| Tabela 14. Resistencia da linha de cola aos esforços de cisalhamento. | 90 |

SIGLAS

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente
CAV – Centro de Ciências Agroveterinárias
EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaios
FF – Fenol – formaldeído
FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
IAWA - *International Association of Wood Anatomists*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO – International Organization for Standardization
MOE – Módulo de Elasticidade
MOR – Módulo de Ruptura
MPa – Mega Pascal
NBR - Normas Técnicas Brasileiras
PNQM – Programa Nacional da Qualidade da Madeira
SIPAM - Sistema de Proteção da Amazônia
SNIF - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
RLC – Resistência na Linha de Cola
TAPPI - *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*
UF – Ureia – formaldeído
UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 15 |
| CAPÍTULO I | 18 |
| CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE <i>Zanthoxylum ekmanii</i> (Urb.) Alain DE FLORESTAS MANEJADAS NO ESTADO DO PARÁ | 18 |
| RESUMO..... | 18 |
| ABSTRACT | 19 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 20 |
| 2. OBJETIVOS..... | 21 |
| 2.1 GERAL..... | 21 |
| 2.2 ESPECÍFICOS | 21 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 21 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 21 |
| 3.2 COLETA DO MATERIAL | 22 |
| 3.3 DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES | 25 |
| 3.4 ANATOMIA DA MADEIRA | 25 |
| 3.5 COLORIMETRIA | 29 |
| 3.6 FÍSICA DA MADEIRA | 29 |
| 3.7 QUÍMICA DA MADEIRA | 31 |
| 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 33 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 34 |
| 4.1 DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES | 34 |
| 4.2 ANÁLISE ANATÔMICA QUALITATIVA E IDENTIFICAÇÃO | 36 |
| 4.3 ANÁLISE ANATÔMICA QUANTITATIVA DA MADEIRA | 39 |
| 4.4 ANÁLISE FÍSICA DA MADEIRA | 49 |
| 4.5 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA | 55 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 59 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |
| CAPÍTULO II..... | 71 |
| PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS DA ESPÉCIE <i>Zanthoxylum ekmanii</i> (Urb.) Alain | 71 |
| RESUMO..... | 71 |
| ABSTRACT | 72 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 73 |
| 2. OBJETIVOS..... | 74 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1 GERAL..... | 74 |
| 2.2 ESPECÍFICOS | 74 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 74 |
| 3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL | 74 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS | 76 |
| 3.2.1 Viscosidade..... | 76 |
| 3.2.2 Gel-time | 77 |
| 3.2.3 Teor de sólidos | 77 |
| 3.2.4 pH | 77 |
| 3.3 CONFECÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS | 78 |
| 3.4 ESQUADREJAMENTO DOS PAINÉIS E OBTENÇÃO DOS CORPOS | 79 |
| 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 81 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 82 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS | 82 |
| 4.2 PAINÉIS COLADOS COM RESINA UREIA-FORMALDEÍDO..... | 83 |
| 4.2.1 Avaliação das Propriedades físicas dos painéis..... | 83 |
| 4.2.2 Avaliação das Propriedades mecânicas dos painéis | 84 |
| 4.2.2.1 <i>Flexão estática paralela e perpendicular</i> | 84 |
| 4.2.2.2 <i>Resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento</i> | 86 |
| 4.3 PAINÉIS COLADOS COM RESINA FENOL-FORMALDEÍDO | 87 |
| 4.3.1 Avaliação das Propriedades físicas dos painéis..... | 87 |
| 4.3.2 Avaliação das Propriedades mecânicas dos painéis | 88 |
| 4.3.2.1 <i>Flexão estática paralela e perpendicular</i> | 88 |
| 4.3.2.2 <i>Resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento</i> | 90 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 91 |
| 6. RECOMENDAÇÕES..... | 92 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 93 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

As florestas tropicais brasileiras, em especial o bioma amazônico que representa cerca de 49% do território nacional (IBGE, 2020), são consideradas o centro de elevada diversidade de espécies de madeira nativas, as quais em sua maioria são incertas de estudos tecnológicos, sendo que essa falta de informações das características intrínsecas da madeira e dos entraves relacionados com a sua produção, acaba por dificultar em muitos aspectos o desenvolvimento do setor florestal brasileiro que fica restrito a utilização de espécie de madeira tradicional.

Nesse contexto, para suprir a demanda da matéria-prima madeira cada vez mais crescente, é necessário não apenas analisar as características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas das espécies amplamente utilizadas no mercado florestal, mas também buscar novas espécies com propriedades similares que possam contribuir de forma quantitativa e qualitativa para atender as necessidades das indústrias madeireiras, bem como contribuir para a ampliação e geração de novos produtos.

Dentre os inúmeros produtos gerados por essas indústrias, tem-se os painéis compensados que são formados por lâminas, unidas sob pressão por meio de resinas de uso interno ou externo, produzido com madeira macia (softwood) e madeira dura (hardwood) e constituído por número ímpar de camadas com sentido da grã adjacente perpendicularmente a outra, para maior resistência física e mecânica. O compensado se destaca por apresentar alta estabilidade dimensional, por ser resistente e relativamente leve e fácil de manusear, sendo que estas características viabilizam suas diversas aplicações na construção civil e na indústria moveleira (IWAKIRI, 2005; FONSECA et al., 2011).

Vale destacar também, que a maioria das espécies arbóreas pode ser utilizada na obtenção de lâminas de madeira, sendo que as folhosas são mais facilmente transformadas em lâminas do que as coníferas, devido ao fato de que as folhosas respondem melhor aos esforços de flexão produzindo lâminas menos danificadas por fendilhamento (MEDINA, 1986). Outra característica importante na produção desse tipo de painel, está relacionada a massa específica, pois, espécies adequadas para o processo de laminação tendem apresentar massa específica básica entre 0,38 g/cm³ e 0,70 g/cm³, com preferência para aquelas com valor próximo a 0,50 g/cm³ (BORTOLETTO, 2003; SILVEIRA et al., 2013).

Portanto, para estimar a viabilidade de utilização de espécies não convencionais, estudos que envolvam o conhecimento das suas características individuais são essenciais, pois, por meio deles, é possível saber a intensidade de crescimento, a qualidade do produto e a sua melhor indicação de uso. Para que isso ocorra, deve se levar em consideração as especificidades de

ambiente e espécie, por meio de um manejo específico, indicando medidas e atividades que busquem a sustentabilidade da produção e manutenção da diversidade biológica, sobretudo baseadas em informações técnicas científicas qualificadas.

Além disso, pode ainda, significar um incentivo à inserção destas espécies nas autorizações de colheita florestal emitidos em planos de manejo florestal sustentável licenciado pelos órgãos competentes, uma vez assegurados à qualidade e os requisitos do produto em questão (BRANDÃO, 2011).

Dessa maneira, como já mencionado, existe uma gama de espécies produtoras de madeira sobre as quais pouco se conhece em termos de propriedades tecnológicas, dentre tais, está inserida a espécie deste estudo que surge com grande potencial para ser uma espécie alternativa de baixa densidade, as quais são bem aceitas no mercado nacional e internacional.

Zanthoxylum ekmanii (Urb.) Alain é bem distribuído em florestas tropicais úmidas e de terra firme nas regiões da América central, no sul do México, Suriname, Guiana Francesa e ao norte do Brasil nos Estados do Amapá, Pará, Acre, Rondônia e até no Norte do Mato-Grosso e Oeste do Mato Grosso do Sul (PIRANI, 2015). Apresenta potencial para ser utilizada na recuperação florestal, pois desenvolve-se bem em áreas alteradas, possui rápido crescimento em clareiras e curta longevidade, quando observada em competição na floresta natural, indicando que esta espécie necessita de manejo específico e de aplicação de tratamentos silviculturais que favoreçam o aumento da sua regeneração natural na floresta e o crescimento das plantas mais jovens, principalmente por meio da silvicultura em clareiras (AGUIAR et al., 2015; MARTINS et al., 2018).

É uma árvore que pertence à família Rutaceae, é dióica, caducifólia a semi-caducifólia e heliófita, ou seja, tipicamente secundária que necessita de aberturas no dossel para a entrada de radiação solar. Pode atingir cerca de 7 a 13 m de altura comercial e 60 cm de DAP, apresenta casca com coloração cinza-escura, assim como a presença de acúleos em forma de cones finos de bases alagadas no tronco, madeira cor castanho escuro-esverdeado no cerne e castanho claro no alburno e as folhas compostas (FACUNDO et al., 2005; RUSCHEL et al., 2015; AGUIAR et al., 2015).

A madeira de *Z. ekmanii* é considerada leve com densidade básica entre 0,45 a 0,50 g.cm³, clara, macia e de fácil trabalhabilidade, com excelente estabilidade dimensional. Durante seu processamento em serra de fita apresenta baixa abrasividade, possui boa resistência biológica (fungos e insetos), como também pode apresentar potencial de uso na indústria de lâminas e painéis de madeira, porém são necessários maiores estudos (AGUIAR et al., 2015; MARTINS; ABREU, 2019).

Assim, em função das suas características ecológicas e tecnológicas desejáveis, a espécie *Z. ekmanii* pode ser considerada uma madeira com potencial para ser utilizada em programas de reflorestamento ou recuperação de áreas degradadas, como também para a produção de painéis compensados, esquadrias, móveis finos, pisos, embarcações, e instrumentos musicais, podendo assim vim a substituir e minimizar a pressão sobre espécies intensamente exploradas, contribuindo desta maneira com a conservação e manejo racional da floresta.

Essa dissertação é apresentada em dois capítulos:

- 1º Capítulo: Caracterização tecnológica da madeira *Zanthoxylum ekmanii* (urb.) Alain de florestas manejadas no Estado do Pará.
- 2º Capítulo: Produção de painéis compensados da espécie *Zanthoxylum ekmanii* (urb.) Alain.

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain DE FLORESTAS MANEJADAS NO ESTADO DO PARÁ

RESUMO

O conhecimento das características tecnológicas é essencial para o melhor uso e aproveitamento das espécies madeireiras dentro do setor florestal, isso porque ocorrem variações dentro e entre árvores, tanto no sentido radial, quanto no sentido longitudinal do tronco. Por isso, o estudo da qualidade da madeira é fundamental para se entender o potencial de utilização dessa importante matéria-prima. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar a idade, as características anatômicas, físicas e químicas da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (limãozinho) a fim de fornecer informações para a literatura e inserção dessa espécie no mercado madeireiro. Para este estudo foram coletados discos de 6 cm de espessura de 3 árvores, em diferentes alturas do tronco (0%, 50% e 100%) e retiradas amostras no sentido medula-casca. Na estimativa da idade, foram utilizados os discos da base, e realizado o polimento da sua superfície transversal, para melhor evidenciar os limites dos anéis de crescimento. A medição da largura dos anéis foi realizada em quatro raios, no programa *Image Pro Plus®*. As análises anatômicas, físicas e químicas no sentido longitudinal e radial, foram realizadas de acordo com as normas técnicas. Como resultados, a idade média estimada para as árvores foi de 17 anos, variando de 14 a 20 anos, com diâmetro médio de 30 cm. Na descrição macroscópica, a espécie apresentou camadas de crescimento distintas; porosidade em anel semi-poroso, com poros visíveis, solitários e múltiplos em arranjos radiais; parênquima axial marginal e raios espelhado contrastado na seção radial e não estratificados na tangencial. Observou-se interação entre os fatores longitudinal x radial para todos os parâmetros anatômicos. As propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira variaram no sentido longitudinal e radial, o que permitiu o entendimento do comportamento (variação) ao longo do tronco e no sentido medula-casca. De modo geral, os resultados alcançados contribuem com o conhecimento tecnológico dessa importante espécie amazônica, tornando-se uma ferramenta essencial na valorização, comercialização e uso dessa madeira.

Palavras-chave: Amazônia. Características anatômicas, físicas e químicas. Variação longitudinal e radial. *Zanthoxylum ekmanii*.

ABSTRACT

The Knowledge of technological characteristics is essential for the best use and exploitation of timber species within the forestry sector, because of variations between and between trees, both in the radial and longitudinal directions of the trunk. For this reason, the study of wood quality is fundamental to understand the potential use of this important raw material. In this context, the objective of this work was to determine the age, anatomical, physical and chemical characteristics of the wood of *Zanthoxylum ekmanii* (lemon) to provide information for the literature and insertion of this species in the timber market. For this study, 6 cm thick discs were collected from 3 trees, at different heights of the trunk (0%, 50% and 100%) and samples were taken in the marrow-bark direction. In the age estimate, the base discs were used, and the polishing of its transverse surface was performed, to better highlight the limits of the growth rings. The measurement of the width of the rings was performed in four radii, using the *Image Pro Plus®* program. The anatomical, physical, and chemical analyses in the longitudinal and radial directions were performed according to technical standards. As a result, the estimated average age for *Zanthoxylum ekmanii* trees was 17 years, ranging from 14 to 20 years, with an average diameter of 30 cm. In the macroscopic description, the species presented distinct growth layers; semi-porous ring porosity, with visible, solitary, and multiple pores in radial arrangements; marginal axial parenchyma and contrasted mirror rays in the radial section and not stratified in the tangential. An interaction between longitudinal x radial factors was observed for all anatomical parameters. The anatomical, physical and chemical properties of the wood varied in the longitudinal and radial directions, which allowed the understanding of the behavior (variation) along the trunk and in the pith-bark direction. In general, the results achieved contribute to the technological knowledge of this important Amazonian species, becoming an essential tool in the valorization, commercialization, and use of this wood.

Keywords: Amazon. Anatomical, physical and chemical characteristics. Longitudinal and radial variation. *Zanthoxylum ekmanii*.

1. INTRODUÇÃO

A madeira de espécies oriundas de florestas naturais, possuem elevada potencialidade de utilização no setor florestal. Contudo, o maior obstáculo para o melhor uso e aproveitamento dessas madeiras nativas, ainda é o desconhecimento de suas características tecnológicas, fisiológicas e morfológicas (FERREIRA et al., 2004).

Assim, para comprovar o potencial tecnológico dessas espécies florestais, estudos relacionados ao conhecimento das características de seus constituintes, são essenciais para auxiliar no manuseio e utilização adequada dessa matéria-prima.

Nesse contexto, uma espécie que surge como potencial fonte de matéria-prima, é o *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain. Trata-se de uma espécie arbórea pertencente à família Rutaceae, conhecida vulgarmente como limãozinho, mamica-de-porca e tamanqueira, e pode ser encontrado no Brasil, Suriname, Guiana Francesa, Bolívia e partes do sul do México em altitudes de 0-1700 m. Esta árvore pode atingir cerca de 7 a 13 m de altura comercial e 60 cm de DAP (RUSCHEL et al., 2015). De maneira geral, a caracterização da madeira é indispensável, principalmente no que se refere a variação que ocorre dentro da árvore, tanto na direção radial (medula-casca), quanto na direção longitudinal (base-topo), sendo assim, fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade (OLIVEIRA et al., 2005).

A literatura relata que essas variações ocorrem devido a madeira ser um material orgânico, sendo assim, existe uma heterogeneidade atribuída aos distintos tipos e funções dos elementos anatômicos que compõem o lenho, os quais acabam afetando diretamente as propriedades intrínsecas da madeira (NASSUR, 2010).

Em estudos realizados com a madeira de *Z. ekmanii*, os autores descreveram que esta apresentou-se como de qualidade excelente, ou seja, dimensionalmente estável, com baixos índices de contração volumétrica e coeficiente de anisotropia, fatores que proporcionam baixa intensidade de defeitos, observados em madeira serrada (MARTINS; ABREU, 2019).

Assim, toda madeira deve ser previamente estudada, para que se possa demonstrar seu potencial de uso, onde cada etapa deve ser conduzida cuidadosamente, para que a qualidade não seja comprometida. Portanto, diferentes análises podem ser utilizadas para a determinação destas propriedades, tais como anatômicas, físicas, químicas, além de ensaios mecânicos (VIVIAN, 2010).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi estimar a idade e avaliar as características anatômicas, físicas e químicas da madeira de *Z. ekmanii* oriunda de florestas manejadas no Estado do Pará, a fim de proporcionar conhecimento científico de suas características, o que

pode contribuir para possíveis utilizações da madeira dessa espécie, bem como, uma base teórica para a formulação de novas pesquisas.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Caracterizar tecnologicamente a madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain no sentido longitudinal e radial do fuste, oriunda de florestas manejadas no Estado do Pará.

2.2 ESPECÍFICOS

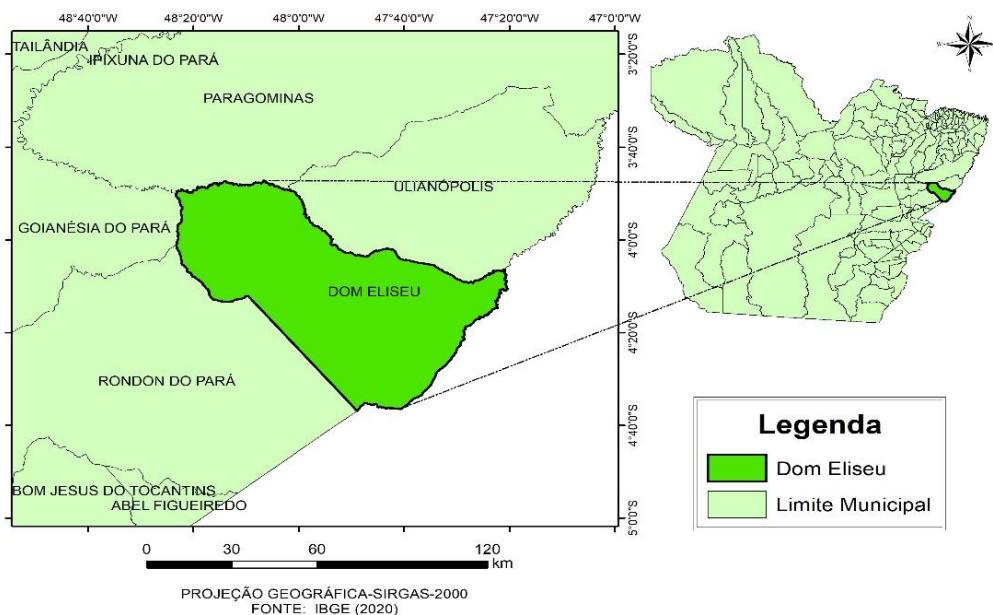
- Determinar a idade das árvores manejadas;
- Analisar as características anatômicas da madeira;
- Identificar a espécie deste estudo;
- Avaliar as propriedades físicas e químicas da madeira.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local de coleta da espécie foi em uma Floresta Ombrófila Densa de terra firme com 535 ha, situada no Município de Dom Eliseu na região sudeste do Estado do Pará ($04^{\circ} 30' 48''$ S e $47^{\circ} 39' 36''$ O), próximo à Rodovia BR 010 (Figura 1). É uma área inserida no bioma amazônico, destinada ao manejo florestal (SMOGINSKI et al., 2013). No ano de 2013 uma colheita em caráter de pesquisa foi realizada com intensidade de corte de $30\text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e diâmetro mínimo de corte (DMC) $\geq 25\text{ cm}$. Para a espécie *Z. ekmanni*, nesse mesmo ano foi autorizada a retirada de um volume de $0,55\text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (SEMAS, 2015). A frequência absoluta observada para a espécie nessa área de manejo, após a realização do corte foi de 93%, com a presença em 28 parcelas, dentre as 30 estabelecidas (MARTINS et al., 2018).

Figura 1. Localização do Município de Dom Eliseu, Sudeste do Estado do Pará.



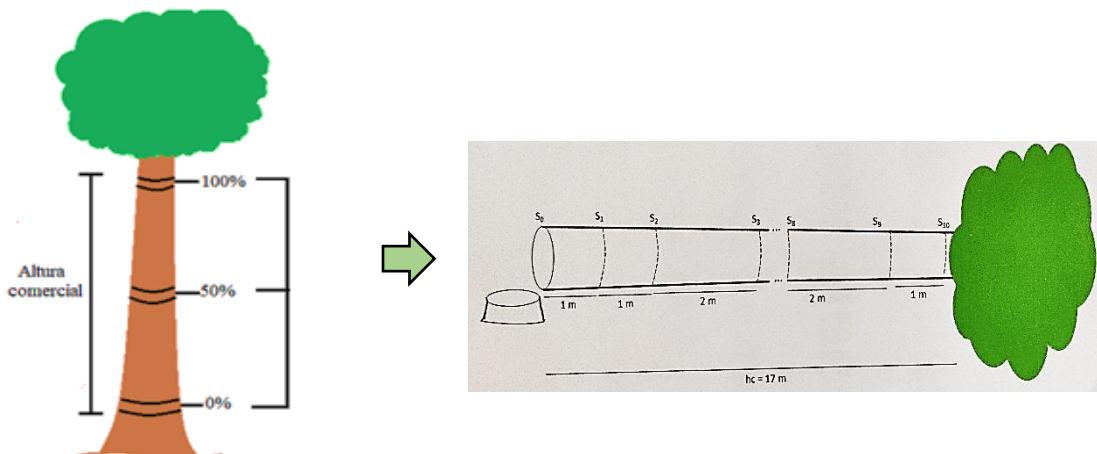
Fonte: Adaptado de IBGE (2020)

O clima dominante na região, segundo a classificação de Koppen é do tipo Aw, clima tropical chuvoso, com expressivo período de estiagem, sendo o trimestre mais seco nos meses de julho, agosto e setembro e o trimestre mais chuvoso nos meses de fevereiro, março e abril (SIPAM, 2009). A temperatura média anual é 25°C, e as médias das máximas e mínimas, respectivamente, em torno de 33°C e 22°C, com umidade relativa média de 80% (IBGE, 2012).

3.2 COLETA DO MATERIAL

Para este estudo foram colhidas 3 árvores de *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain, onde realizou-se a cubagem pelo método proposto por Smalian (Figura 2).

Figura 2. Cubagem das árvores de *Z. ekmanii* pelo método de Smalian.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Os dados biométricos das árvores utilizadas no estudo, podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados da cubagem das três árvores de *Z. ekmanii* pelo método de Smalian.

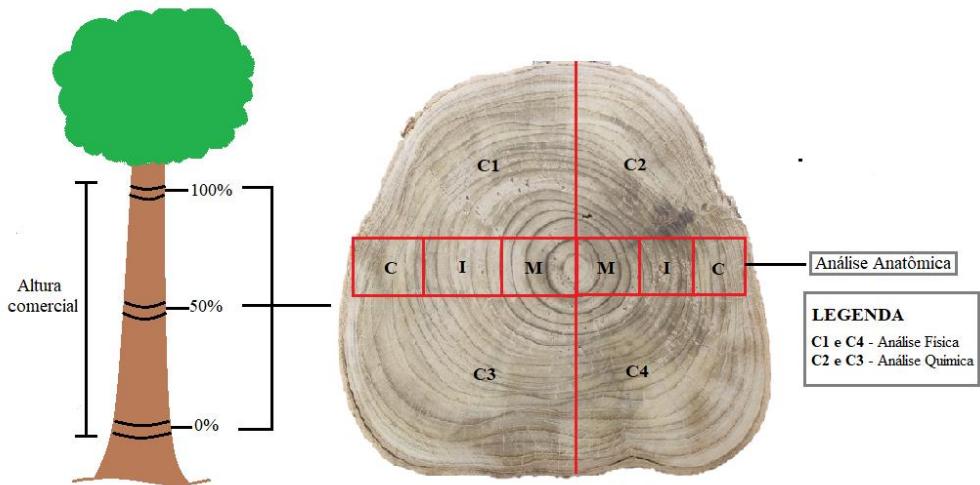
| ÁRVORE | DAP (cm) | HT (m) | VTcc(m ³) | VTsc(m ³) |
|--------|----------|--------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 34,06 | 20,02 | 0,846 | 0,813 |
| 2 | 29,28 | 23,27 | 0,731 | 0,697 |
| 3 | 27,98 | 20,50 | 0,577 | 0,555 |

DAP: Diâmetro à altura do peito (cm); HT: Altura total (m); VTcc: Volume total com casca (m³); VTsc: Volume total sem casca (m³).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Em seguida, foram retirados 3 discos de 6 cm de espessura nas posições 0%, 50% e 100%, totalizando 9 discos para as realizações das análises químicas, físicas e anatômicas da madeira (Figura 3).

Figura 3. Esquema de amostragem das árvores de *Z. ekmanii*.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Após a retirada, os discos foram transportados para os laboratórios da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), campus de Lages para a realização das análises (Figura 4).

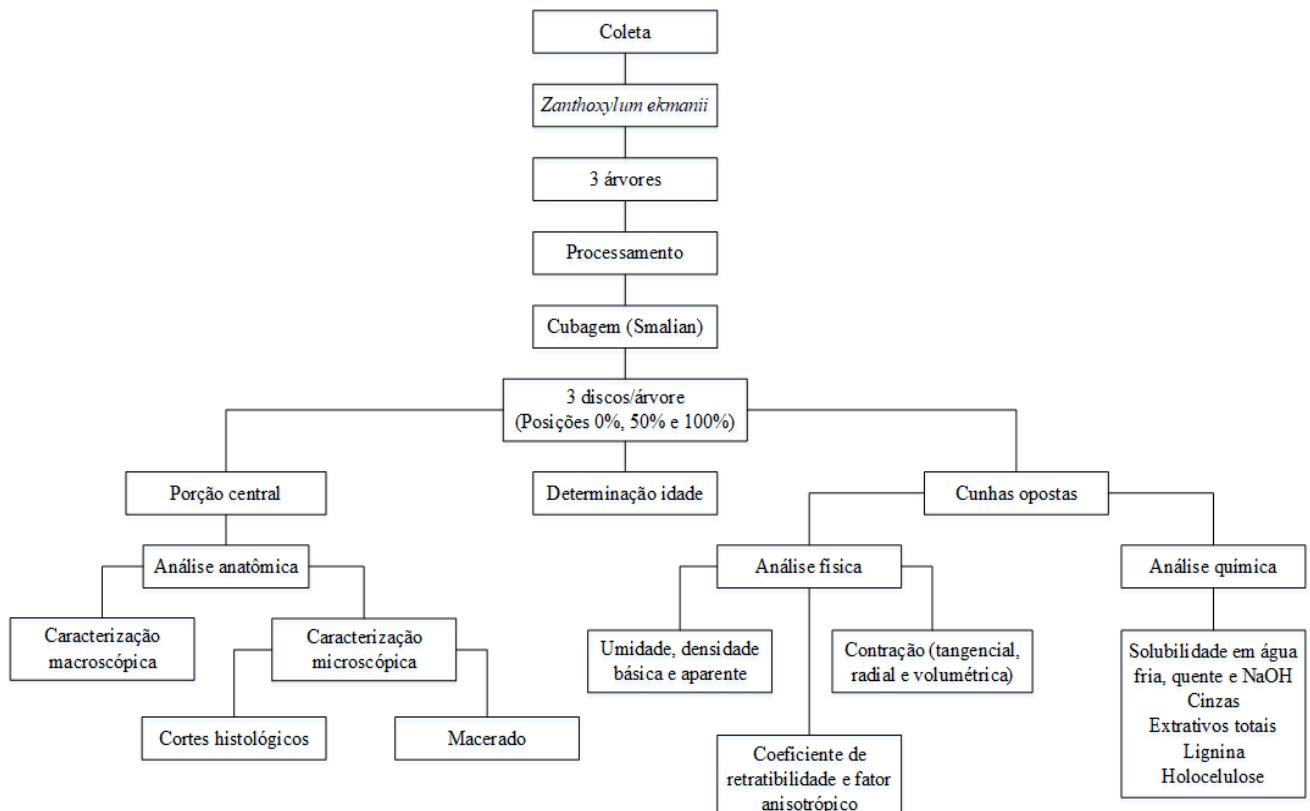
Figura 4. Discos nas posições 0%, 50% e 100% das árvores de *Z. ekmanii* no laboratório da UDESC.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A figura 5 ilustra a sequência de procedimentos adotados desde o corte das árvores até a realização das análises de caracterização da madeira.

Figura 5. Esquema de coleta e caracterização da madeira.



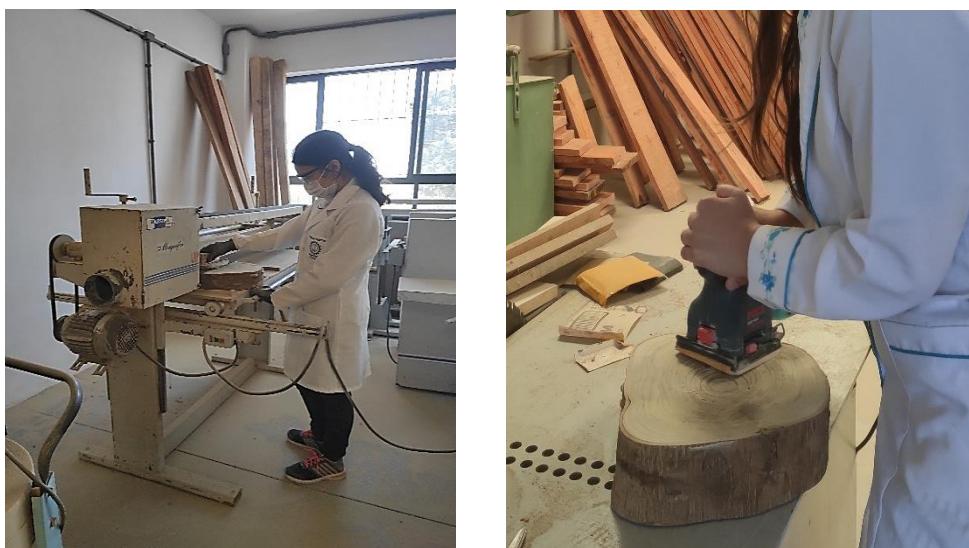
Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.3 DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES

Para a determinação da idade, foram selecionados os discos da base (0%) das árvores de *Z. ekmanii*. As árvores apresentavam diâmetros variados, fustes retos, sem bifurcações ou defeitos aparentes.

Após a secagem natural, os discos foram polidos com lixas de diferentes granulometrias, variando de 60 a 320, em uma única face, com intuito de proporcionar uma melhor visualização dos anéis, e consequentemente facilitar a identificação e mensuração dos mesmos (Figura 6). Em seguida, foram traçados quatro raios em cada um dos discos, sendo que como referência foi feita a delimitação do maior raio, e, a partir desse, foi desenhado um raio num ângulo de 45°, e os demais a 90° um do outro. Posteriormente, foi realizada a contagem manual dos anéis de crescimento e assim determinou-se a idade das árvores. Vale mencionar, que cada raio foi considerado como uma série durante a análise dos dados.

Figura 6. Polimento dos discos de *Z. ekmanii*.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Por fim, os discos foram digitalizados com uma escala para calibração, a qual foi utilizada para facilitar a delimitação e mensurações das larguras dos anéis de crescimento no software Image Pro Plus® versão 4.5.0 (MEDIA CYBERNETICS), com acurácia de 0,01 milímetros, e os dados obtidos foram exportados para Microsoft Excel®.

3.4 ANATOMIA DA MADEIRA

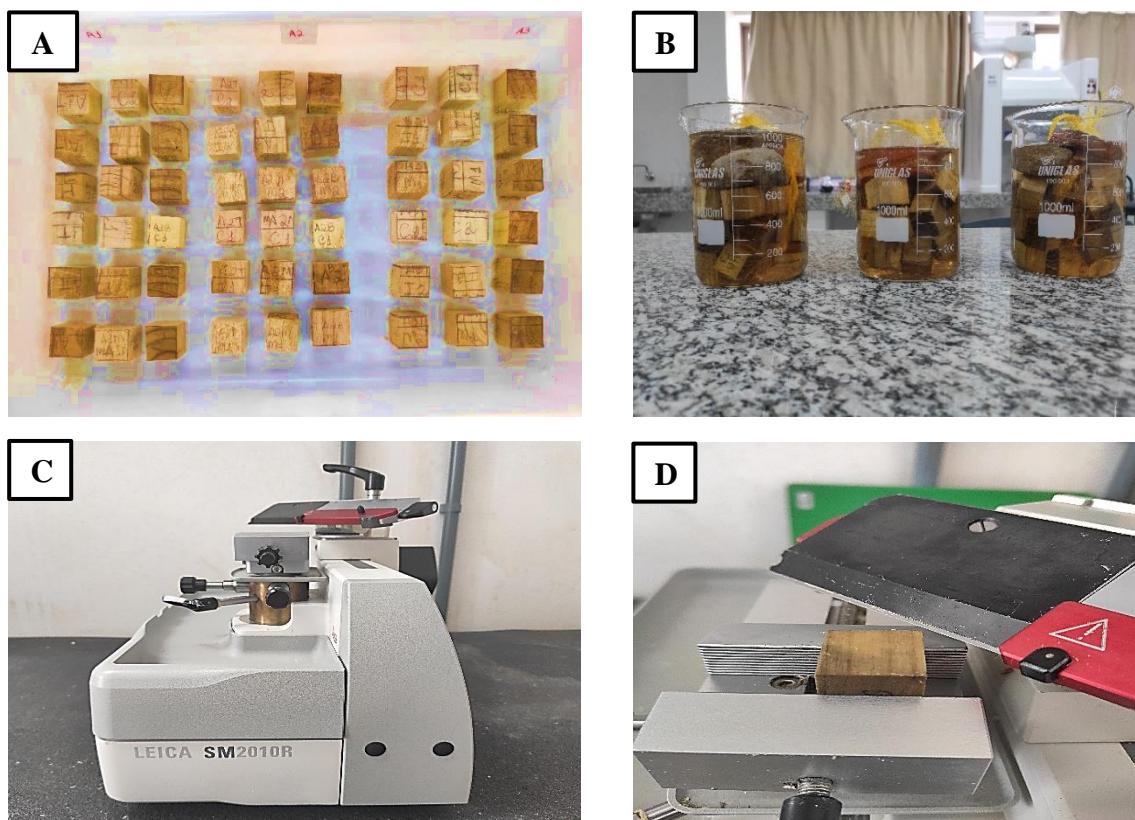
Os discos provenientes das diferentes posições (base-topo), foram cortados com o auxílio de uma serra destopadeira, sendo que para as análises anatômicas, utilizou-se a porção central dos mesmos (Figura 3). Após demarcação foram obtidos corpos de prova orientados com

dimensões de 2 cm x 2 cm x 2 cm (Figura 7/A) nas posições radiais: 0% (próxima a medula - M), 50% (intermediário - I) e 100% (próximo a casca - C).

A descrição macroscópica da madeira foi realizada com apoio do microscópico digital Dino-Lite modelo AM4113, conforme procedimentos padrões descritos por Coradin e Muñiz (1992).

A caracterização anatômica microscópica foi realizada a partir de material lenhoso macerado e cortes histológicos. As amostras foram amolecidas em água à temperatura ambiente e cortadas em micrótomo de deslize modelo Leica SM 2010R (Figura 7/B/C/D), onde foram obtidos cortes histológicos (espessura média de 16 µm) nos três planos anatômicos transversal, radial e tangencial.

Figura 7. Material e equipamento utilizado na análise anatômica da espécie *Z. ekmanii*: (A) Corpos de prova da espécie; (B) Corpos de prova em processo de amolecimento em água; (C) Micrótomo de deslize modelo Leica SM 2010R; (D) Corpo de prova durante a retirada de cortes histológicos no micrótomo de deslize.

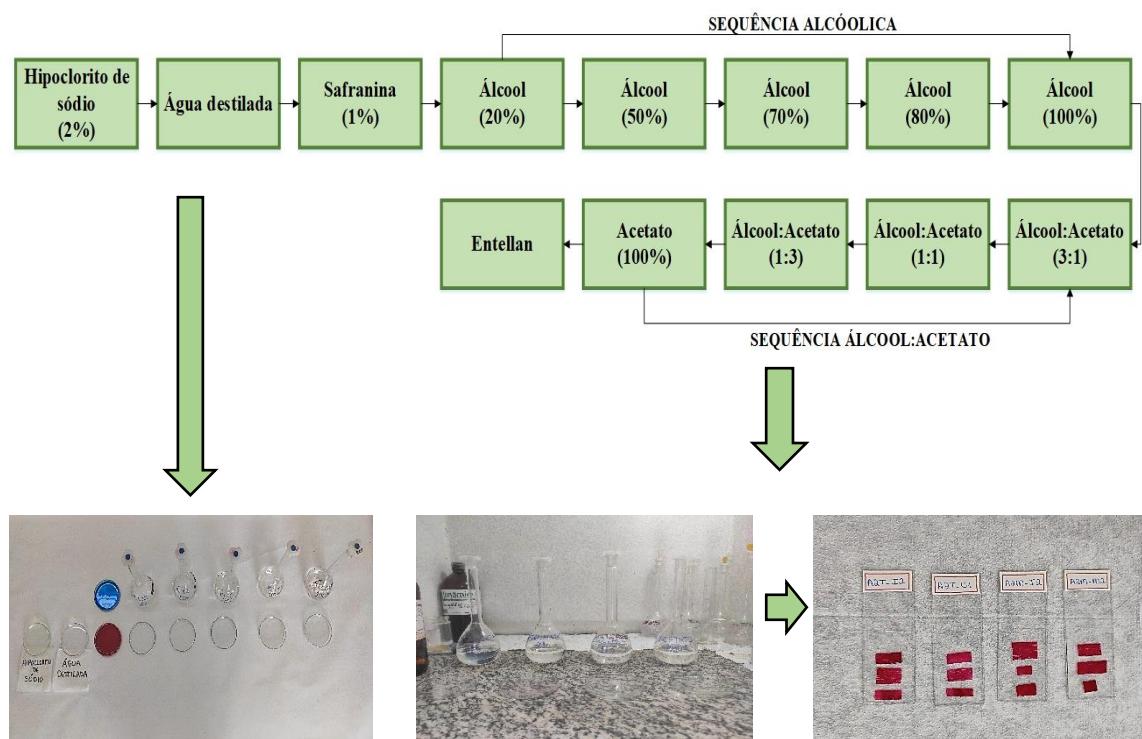


Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Em placas de petri, os cortes histológicos foram clarificados em solução de hipoclorito de sódio (2%), lavados com água destilada, corados com safranina hidro-étilica (1%), e desidratados em sequência alcoólica progressiva (20%, 50%, 70%, 80% e 100%), com álcool/acetato de butila (3:1), álcool/acetato de butila na proporção 1:1, álcool/acetato de butila

na proporção 1:3 e acetato de butila 100% e montadas lâminas permanentes, sob lamínula em lâminas de vidro (Figura 8). Na confecção e preservação dos cortes foi utilizado o Entellan 3:1 (Entellan/acetato de butila) como adesivo sintético.

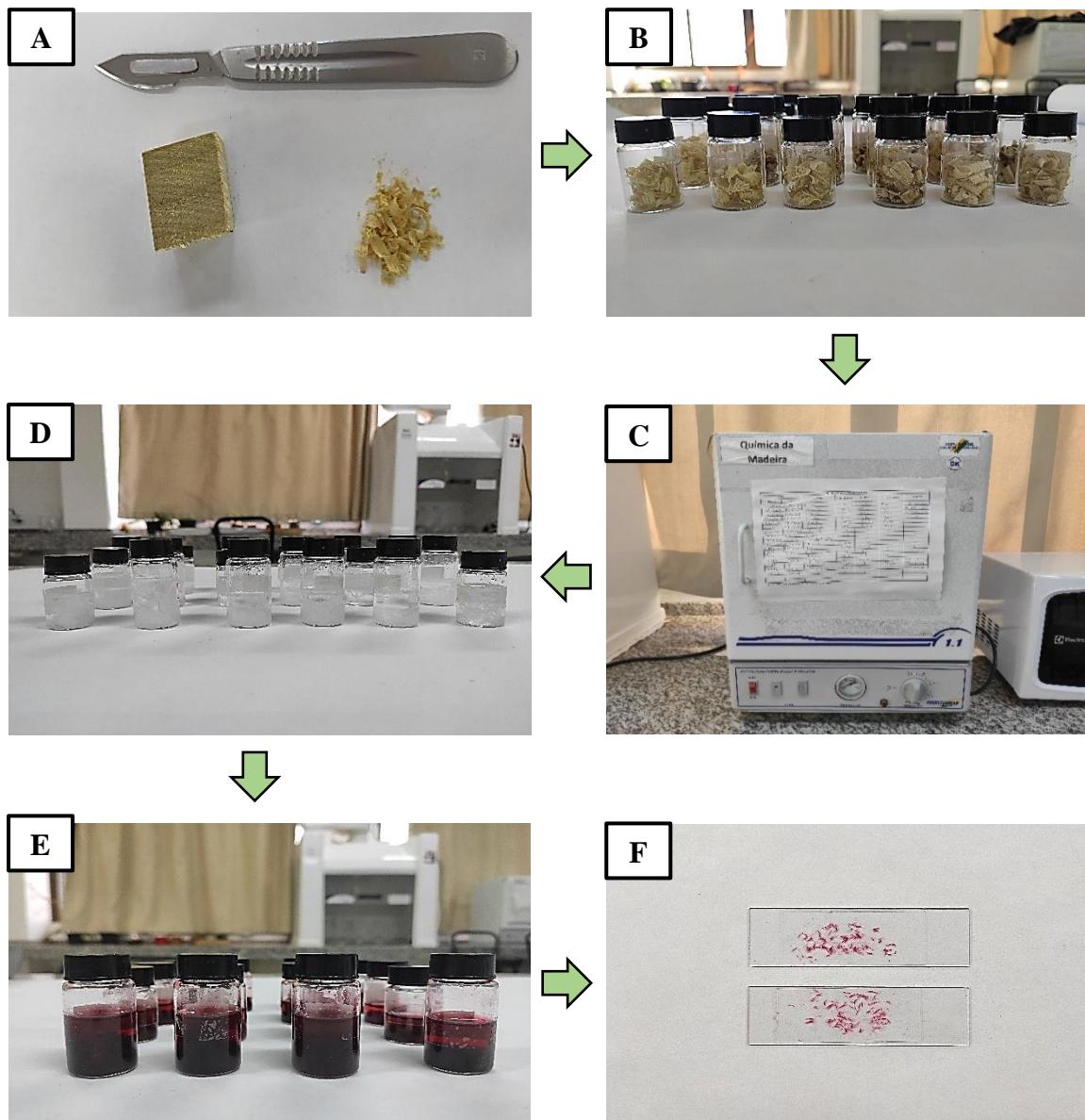
Figura 8. Sequência de montagem das lâminas permanentes.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Além disso, as amostras de madeira foram fragmentadas em lascas, e estas submetidas ao processo de maceração (Método de Franklin 1945) em solução de acético e peróxido de hidrogênio (proporção 1:1), levados a estufa a 60°C por 24 h ou até a completa individualização das fibras e elementos de vasos. Após esse período, o material já dissociado foi lavado em água destilada para a remoção do excesso da solução macerante e corado com safranina hidro-étilica (1%) para melhor observação dos elementos celulares (vasos e fibras) em lâminas temporárias, utilizando glicerina e água destilada na proporção 1:1 (Figura 9).

Figura 9. Procedimentos necessários para a individualização das fibras e vasos: (A) Lâmina utilizada no processo de retirada das lascas de madeira; (B) Lascas de madeira; (C) Estufa utilizada durante o processo de maceração; (D) Material dissociado pela solução macerante; (E) Material corado com safranina; (F) Lâminas temporárias.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Para cada árvore foram medidas as seguintes variáveis, com 30 observações cada, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1. Variáveis anatômicas mensuradas em microscópico digital.

| Lâmina | Variáveis anatômicas mensuradas | Abreviação | Observação |
|------------|--|------------|-------------|
| Permanente | Diâmetro dos vasos (μm) | DV | Plano |
| | Frequência dos vasos ($\text{n}^{\circ}/\text{mm}^2$) | FV | Transversal |
| | Altura dos raios (μm) | AR | Plano |
| | Largura dos raios (μm) | LR | |
| | Número de células de raios (altura) | NCRC | Tangencial |
| | Número de células de raios (largura) | NCRL | |
| | Frequência dos raios ($\text{n}^{\circ}/\text{mm linear}$) | FR | |
| | Diâmetro das pontoações intervasculares (μm) | DPI | Plano |
| Provisória | Diâmetro das pontoações raio-vasculares (μm) | DPRV | Radial |
| | Comprimento dos vasos (μm) | CV | Macerado |
| | Comprimento das fibras (μm) | CF | |
| | Espessura da parede celular das fibras (μm) | EP | |
| | Diâmetro do lúmen das fibras (μm) | DL | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A mensuração dos elementos anatômicos, foi feita utilizando o software Leica Módulo Leica LAS Interactive Measurements, conforme as recomendações da *International Association of Wood Anatomists – IAWA Committee (1989)*.

3.5 COLORIMETRIA

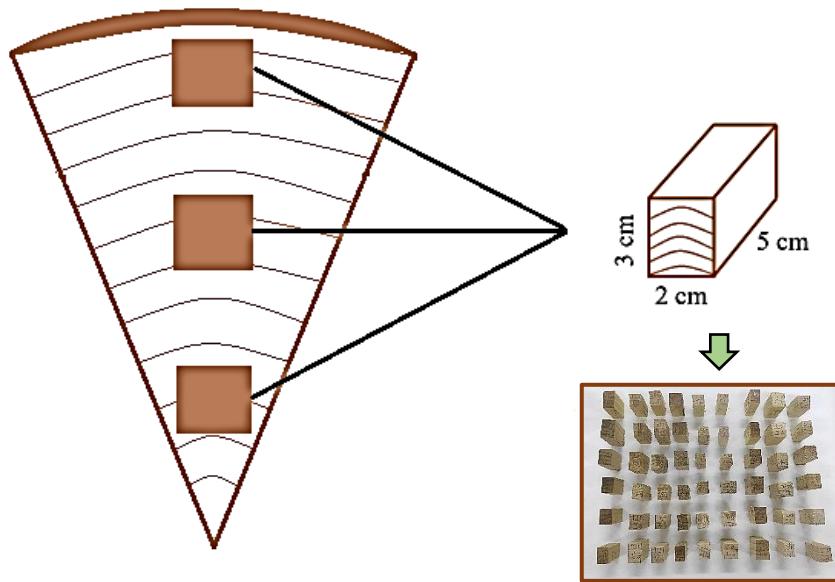
A cor da madeira foi determinada utilizando um colorímetro portátil modelo CR-400, Konica minolta. Foi utilizado a média de 27 medições no plano transversal, tangencial e radial, onde foram avaliados os parâmetros de cor CIE $L^*a^*b^*$, sendo L^* (luminosidade), a^* (coordenada do eixo vermelho-verde) e b^* (coordenada azul-amarelo).

3.6 FÍSICA DA MADEIRA

A determinação das propriedades físicas (Figura 11), tais como teor de umidade, densidade (básica e aparente) e retratibilidade (contrações lineares e volumétricas), foram

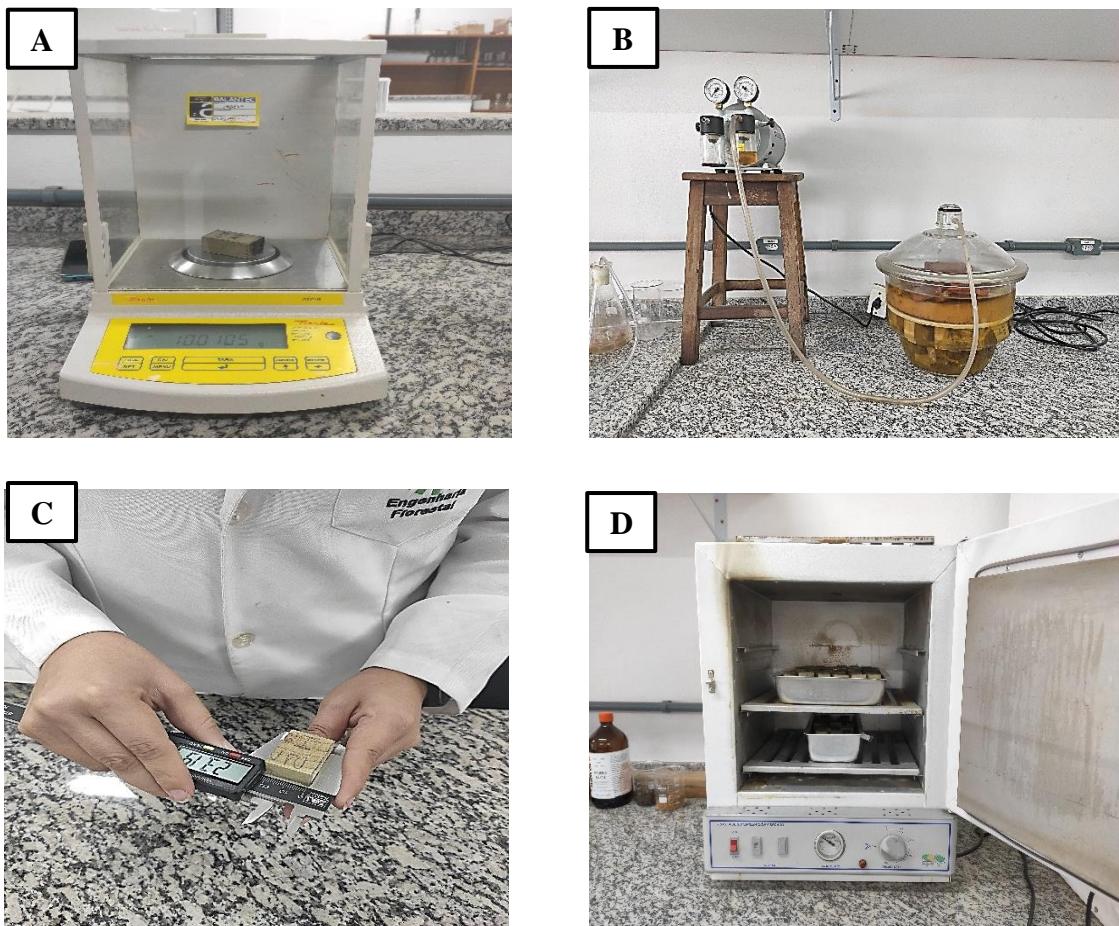
realizadas em amostras, obtidas no sentido medula-casca e base-topo de duas cunhas (Figura 10) simetricamente opostas de cada um dos discos com dimensões de 2 cm x 3 cm x 5 cm, de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Figura 10. Esquema de retirada das amostras, no sentido medula-casca.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Figura 11. Procedimentos realizados durante a análise física da madeira: (A) Corpo de prova durante aferição da massa; (B) Recipiente de vidro ligado a Bomba à vácuo, durante o processo de saturação; (C) Aferição das dimensões dos corpos de prova com o paquímetro digital; (D) Estufa utilizada durante a secagem do material.



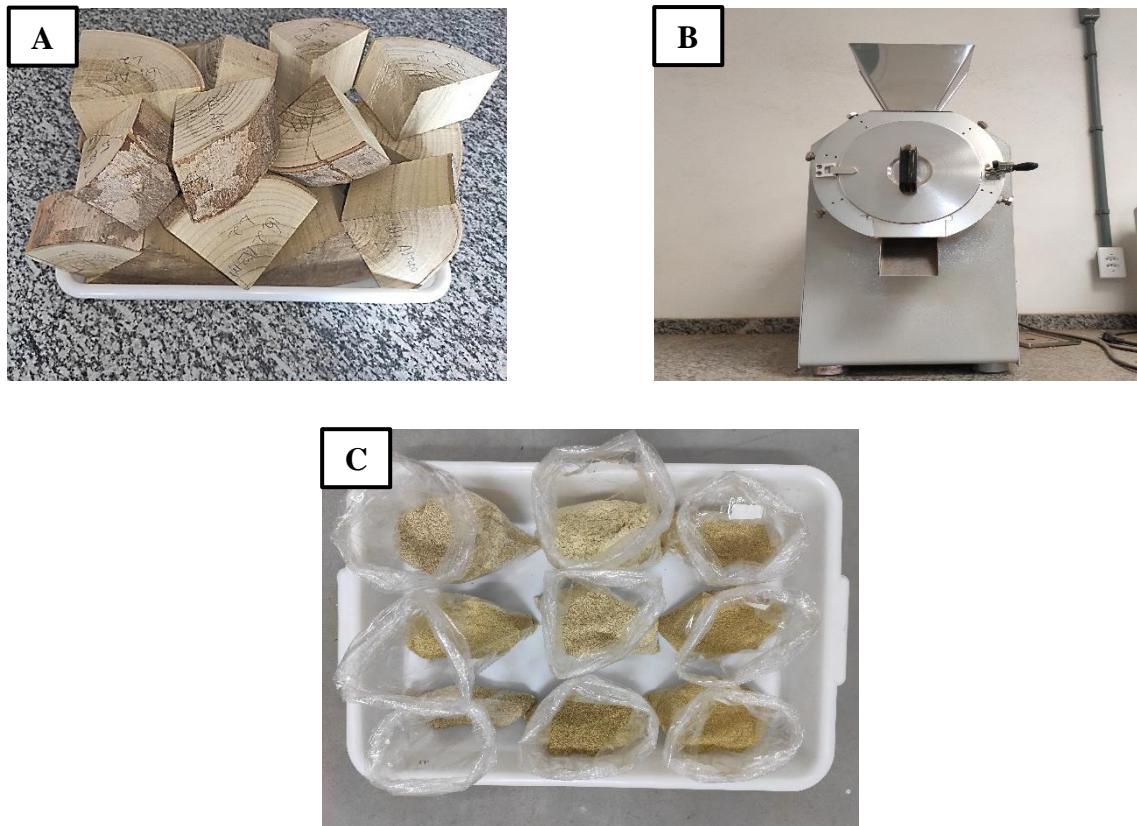
Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.7 QUÍMICA DA MADEIRA

Para a análise da composição química, as cunhas opostas retiradas de cada um dos discos foram transformadas em cavacos por meio de um picador e em seguida, trituradas e transformadas em serragem em moinho de facas do tipo Willey. Posteriormente, com o intuito de homogeneizar o tamanho das partículas moídas, estas foram classificadas em peneiras manuais, sendo que o material utilizado nas análises, foi o que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh (Figura 12).

O material padronizado foi acondicionado em câmara climatizada, com temperatura de $20\pm2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65\pm3\%$, até massa constante e teor de umidade de equilíbrio de 12%. Por fim, foi determinado o percentual de material absolutamente seco a fim de efetuar as devidas correções durante a execução das análises.

Figura 12. Processo de obtenção do material para as análises químicas: (A) Cunhas opostas retirada dos discos; (B) Moinho de facas do tipo Wiley, utilizado na obtenção da serragem; (C) Partículas padronizadas, obtidas da peneira de 60 mesh.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

As análises químicas foram realizadas de acordo com as normas apresentadas no Quadro 2.

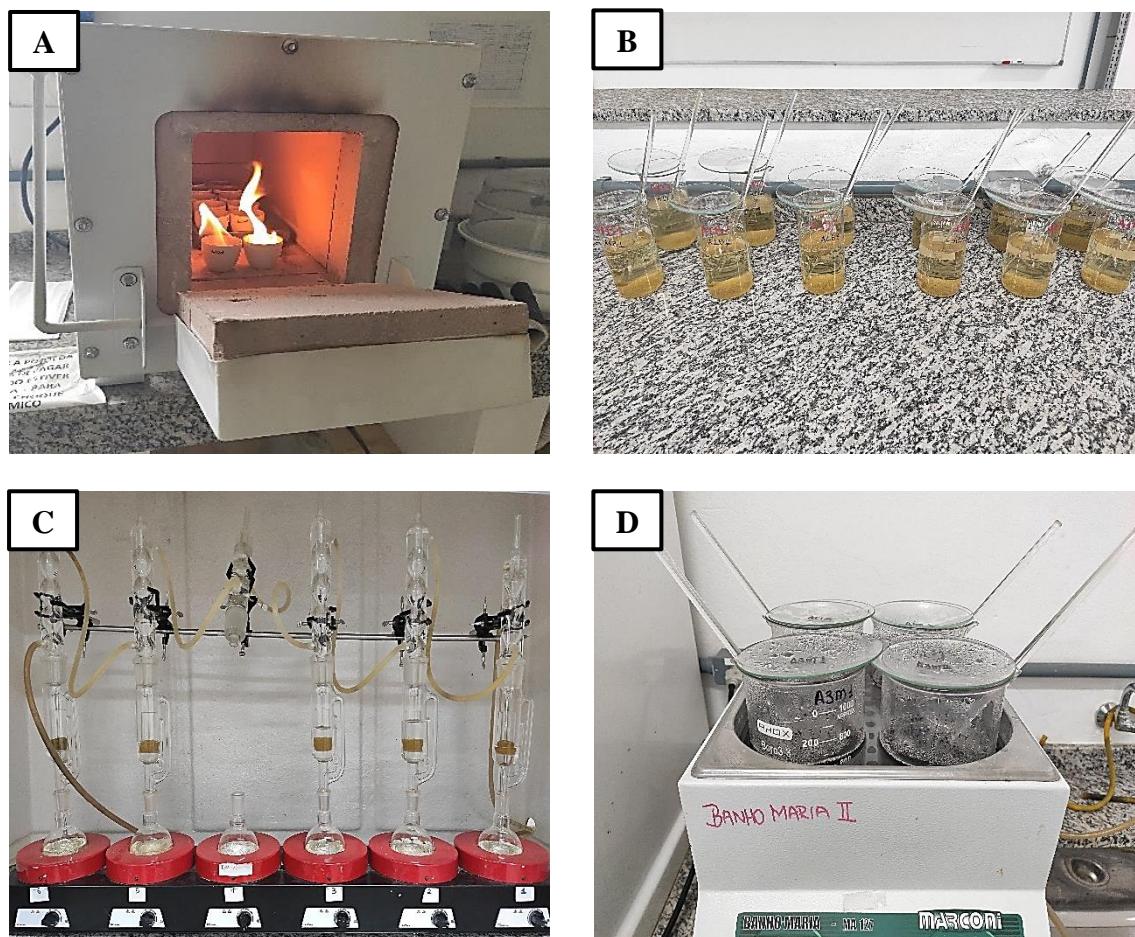
Quadro 2. Normas e análises químicas realizadas na madeira de *Z. ekmanii*.

| Análises | Normas |
|---|--|
| Teor de extractivos em água fria e quente | NBR 7988 (ABNT, 1984) |
| Teor de extractivos em NaOH | NBR 7990 (ABNT, 2010) |
| Extractivos totais | NBR 14660 (ABNT, 2004) |
| Teor de lignina | TAPPI T413 (1993) |
| Teor de cinzas | TAPPI T222 (1993) |
| Teor de holocelulose | $T_{\text{holocelulose}} = 100 - (T_{\text{extractivos totais}} + T_{\text{lignina}} + T_{\text{cinzas}})$ |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Observa-se abaixo (Figura 13), alguns dos procedimentos realizados durante as análises.

Figura 13. Procedimentos realizados durante as análises químicas da espécie: (A) Material sendo incinerado para obtenção do teor de cinzas; (B) Material durante análise de solubilidade em água fria; (C) Bancada de extração utilizada na análise de extractivos totais; (D) Material em banho-maria durante análise para obtenção do teor de lignina.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise dos dados foi realizada em esquema fatorial 3×3 , considerando o sentido longitudinal (0%, 50% e 100%) e o sentido radial do tronco (casca, intermediário e medula).

Para testar a normalidade e a homogeneidade dos dados obtidos, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (dados > 30) e Shapiro Wilk (dados < 30) e teste de Bartlett, respectivamente. Após a verificação destes parâmetros, foi efetuado a estatística descritiva, onde foram calculados os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação utilizando-se a planilha eletrônica Microsoft Excel®. Por fim, foi realizada uma análise de variância (Anova) a 5% de probabilidade de erro em todos os conjuntos de dados do experimento, por meio do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Na comparação múltipla das médias

foi utilizado o teste Scott-knott à 5% de significância, quando o teste F apresentou significância. As análises estatísticas foram realizadas, utilizando-se o software Sisvar 5.6, desenvolvido por Ferreira (2011). Os gráficos foram elaborados no software ESTATISCA versão 10.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES

A análise dos anéis de crescimento, foi utilizada para se determinar a idade das árvores de *Z. ekmanii*, com a finalidade de se ter um parâmetro adicional, para uma melhor interpretação dos resultados deste trabalho (Tabela 2).

De acordo com Burger e Richter (1991) a largura e a regularidade dos anéis de crescimento são um importante indicativo das qualidades tecnológicas da madeira.

Tabela 2. Dados do diâmetro e número de anéis de crescimento dos discos da base das três árvores de *Z. ekmanii*.

| ÁRVORE | DIÂMETRO (cm) | Nº ANÉIS |
|--------|---------------|----------|
| 1 | 34,55 | 18 |
| 2 | 29,85 | 21 |
| 3 | 28,01 | 15 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

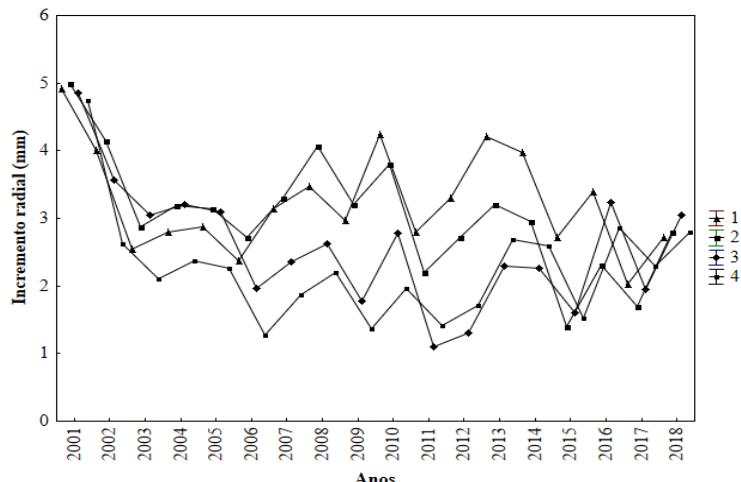
Observar-se acima, que houve variação na contagem dos anéis para as três árvores estudadas. A árvore mais jovem apresentou 15 anéis e a mais velha 21 anéis. Vale mencionar, que os resultados obtidos em relação ao número de anéis de cada árvore são aproximações, pois a existência de falsos anéis não é descartada totalmente.

Kitzberger et al. (2000) afirmam que a contagem do número de anéis anuais de crescimento da medula ao córtex proporciona a estimativa da idade da árvore na altura da amostra coletada, o que não, necessariamente, coincide com a idade total da árvore desde o momento de sua germinação.

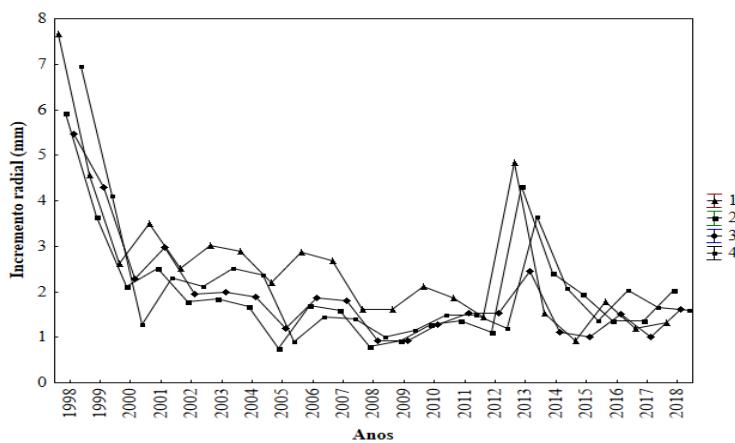
A idade média estimada para as três árvores da espécie *Z. ekmanii* foi de 17 anos, com valores de 17, 20 e 14 anos, respectivamente para as árvores 1, 2 e 3. As correlações médias das séries obtidas por meio do incremento anual dos anéis de crescimento variaram entre 0,66% a 0,90%.

Pode-se observar que a maioria das séries de dados estão altamente correlacionadas, inferindo assim, em uma tendência cronológica similar de crescimento entre as séries analisadas (Gráfico 1).

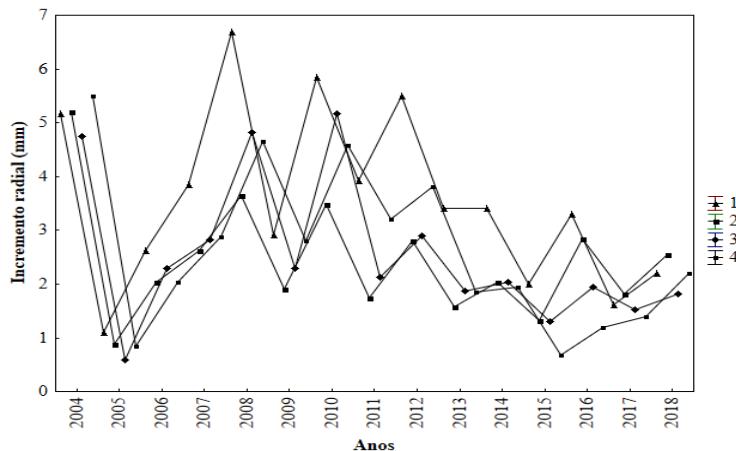
Gráfico 1. Idade estimada das árvores de *Z. ekmanii*, por meio do incremento anual das 4 séries (raios) e suas respectivas correlações, para as três árvores estudadas.



| Árvore 1 | Idade estimada: 17 anos |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Correlação 1-2: 0,74 | Correlação 2-3: 0,69 |
| Correlação 1-3: 0,50 | Correlação 2-4: 0,56 |
| Correlação 1-4: 0,63 | Correlação 3-4: 0,84 |



| Árvore 2 | Idade estimada: 20 anos |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Correlação 1-2: 0,88 | Correlação 2-3: 0,87 |
| Correlação 1-3: 0,93 | Correlação 2-4: 0,93 |
| Correlação 1-4: 0,91 | Correlação 3-4: 0,90 |



| Árvore 3 | Idade estimada: 14 anos |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Correlação 1-2: 0,75 | Correlação 2-3: 0,87 |
| Correlação 1-3: 0,90 | Correlação 2-4: 0,84 |
| Correlação 1-4: 0,88 | Correlação 3-4: 0,92 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Em suma, foi possível verificar que a espécie *Z. ekmanii* possui alto potencial dendrocronológico, assim recomenda-se que sejam realizados estudos referentes aos anéis de crescimento, principalmente em relação ao manejo sustentável dessa importante espécie amazônica.

4.2 ANÁLISE ANATÔMICA QUALITATIVA E IDENTIFICAÇÃO DA MADEIRA

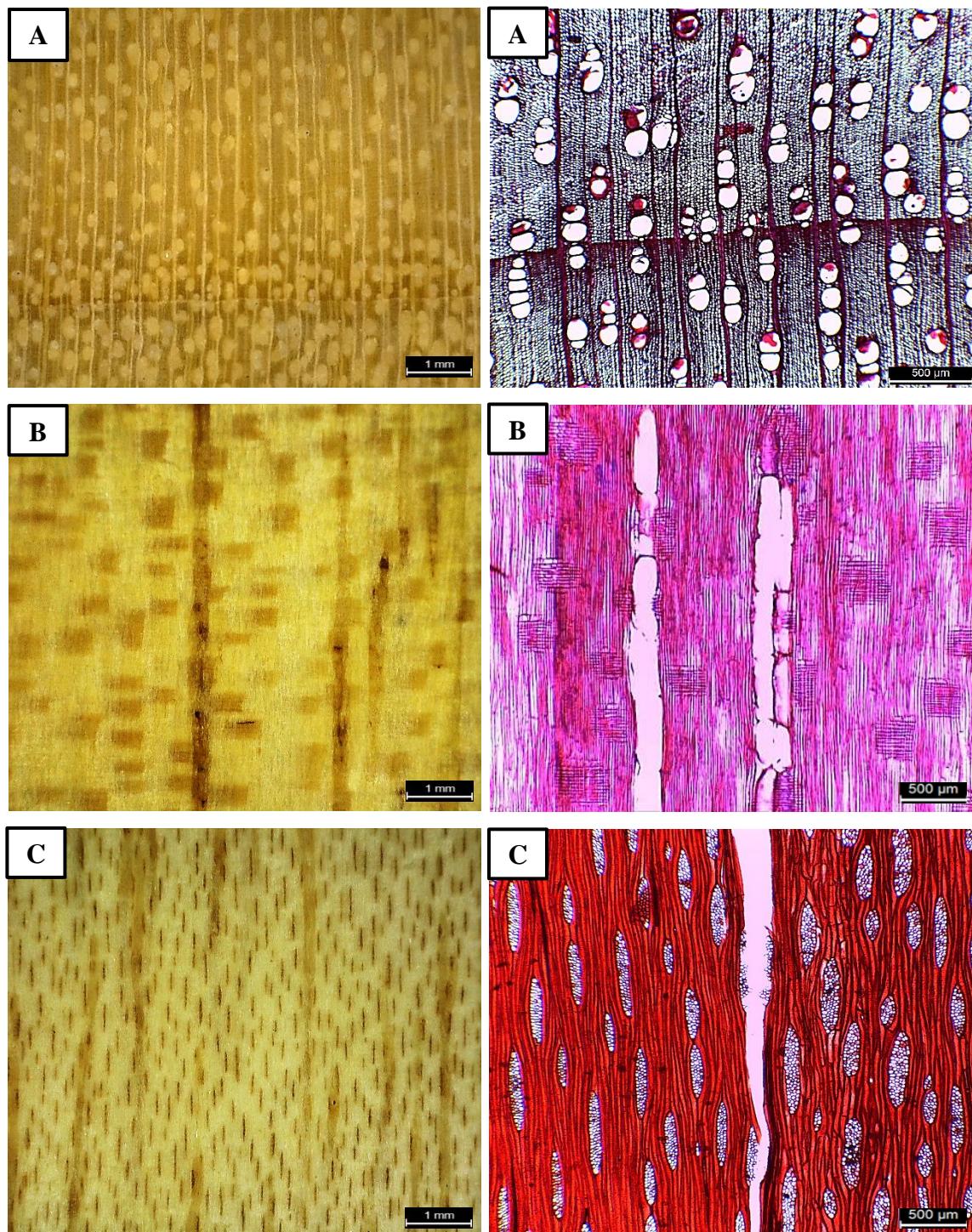
Para auxiliar na identificação da espécie *Zanthoxylum ekmanii* foi utilizado a descrição anatômica macroscópica e microscópica da madeira, juntamente com os dados encontrados na literatura.

Características gerais: madeira leve; macia ao corte; cerne e alburno distintos pela cor, com cerne escuro-esverdeado e alburno amarelado acinzentado; brilho moderado; odor imperceptível; grã direita; textura média e com coordenadas de cor no plano transversal (L: 65,05; a: - 0,45; b: 17,99); no radial (L: 75,76; a: - 0,26; b: 21,51) e no tangencial (L: 74,81; a: - 0,16; b: 21,48), sendo assim, considerada uma madeira de cor clara, variando do amarelado ao esverdeado. A descrição é próxima da obtida por Loureiro et al. (1981) para uma espécie do mesmo gênero.

Características macroscópicas: No plano transversal (Figura 14/A) a espécie apresentou camadas de crescimento distintas; porosidade em anel semi-poroso, com poros visíveis, solitários e múltiplos em arranjos radiais; parênquima axial, indistinto sob lente de 10x. No

plano longitudinal radial e tangencial (Figura 14/B/C), observou-se raios espelhados contrastados e não estratificados, respectivamente.

Figura 14. Características macroscópicas e microscópicas de *Z. ekmanii*: (A) Plano transversal – Porosidade em anel semi-poroso; (B) Plano longitudinal radial – Raios heterogêneos; (C) Plano longitudinal tangencial - Distribuição não estratificada.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

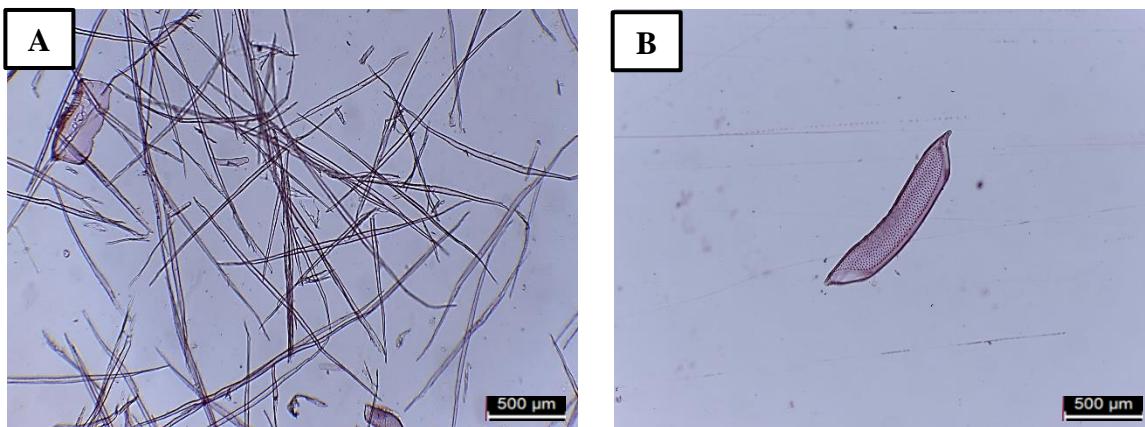
Andrade (2019) e Sousa et al. (2020) estudando a mesma espécie elaboraram uma chave de identificação macroscópica, em que observaram camadas de crescimento distintas,

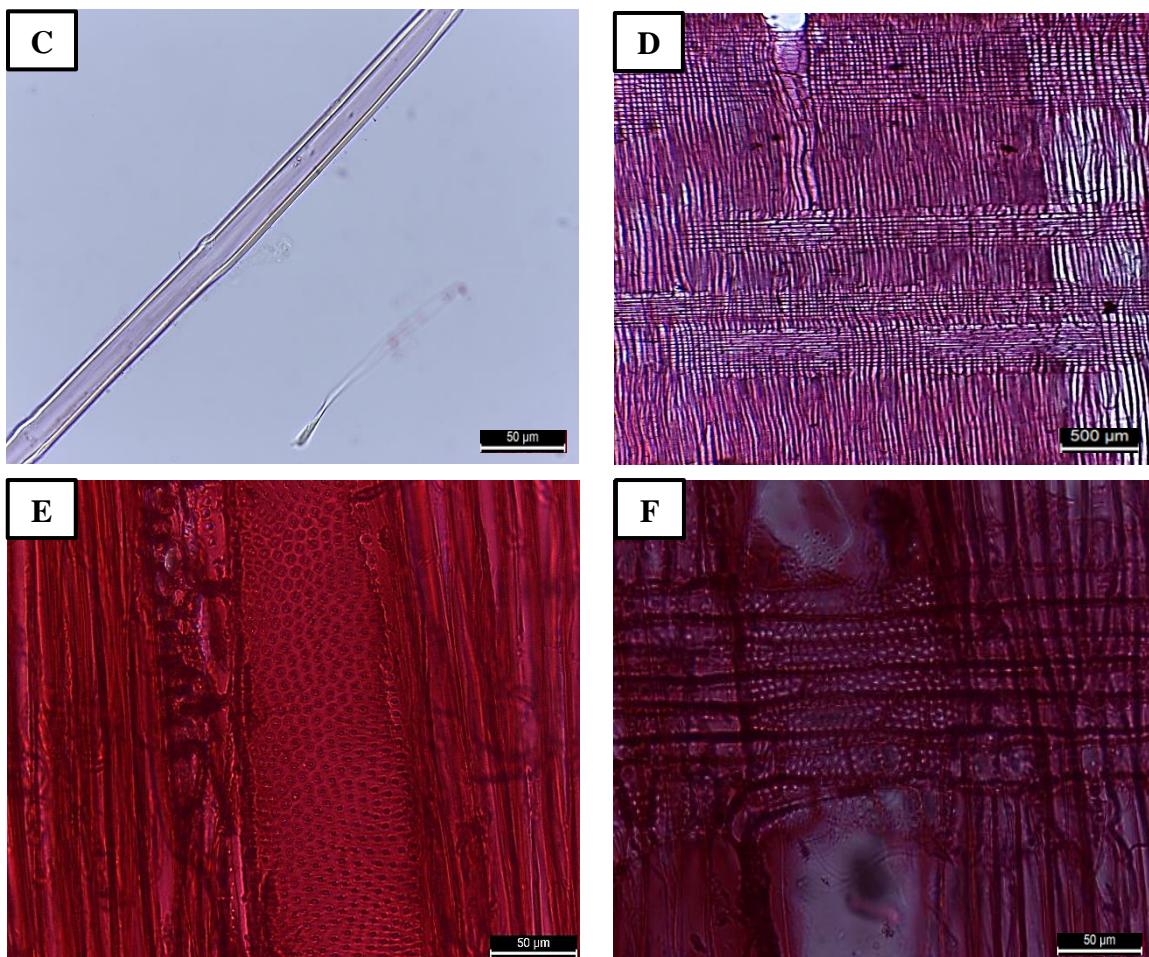
individualizadas por parênquima marginal ou simulando linhas marginais; ou distribuição de vasos em anéis semi-porosos, visíveis a olho nu e predominantemente múltiplos radiais, poucos frequentes, resultado semelhante ao deste estudo, inferindo assim na correta identificação de *Zanthoxylum ekmanii*. Os mesmos autores relataram que a característica mais eficaz na distinção de *Z. ekmanii* foi a presença de vasos em anéis semi-porosos.

Mendes et al. (1999) também relataram em seu trabalho características semelhantes, ao estudarem as espécies do mesmo gênero *Zanthoxylum tingoassuiba* que apresentou camadas de crescimento distintas a olho nu, individualizadas por zonas mais escuras no lenho tardio e pelas faixas do parênquima marginal.

Características microscópicas: Vasos com formato ovalado e circular, solitários e na forma germinada em múltiplos de 2 a 5 unidades (Figura 14/A); Elementos vasculares com placa de perfuração simples (Figura 15/B); as Pontuações intervasculares são alternas, com aberturas inclusas (Figura 15/E); Pontuações raio-vasculares semelhantes às intervasculares (Figura 15/F); Parênquima axial marginal ou simulando linhas marginais no limite da camada de crescimento; Raios em sua maioria bisseriados e multisseriados, alguns raios unisseriados também são encontrados, em geral próximos à região da medula; são heterogêneos com células procumbentes no corpo e células quadradas e/ou eretas nas extremidades (Figura 15/D); Fibras libriformes não septadas, com paredes delgadas e muito curtas (Figura 15/A/C); Presença de cristais prismáticos pouco abundantes nas fibras; Ausência de floema incluso e máculas medulares.

Figura 15. Características microscópicas de *Z. ekmanii*: (A) Fibras libriformes; (B) Vaso com apêndices nas extremidades; (C) Largura e diâmetro do lume da Fibra; (D) Raios heterogêneos apresentando células procumbentes e quadráticas/eretas; (E) Pontuações intervasculares; (F) Pontuações raio-vasculares.





Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Loureiro et al. (1981) e Stange et al. (2019) observaram características microscópicas próximas ao deste estudo, ao estudarem algumas espécies do gênero *Zanthoxylum*.

De maneira geral, a anatomia da madeira se faz importante, pois proporciona informações que auxiliam na identificação de espécies florestais, evitando que possam ser confundidas entre si, além de ser uma ferramenta eficiente na fiscalização, na regulamentação do comércio de madeiras nativas, e ainda em estudos técnicos científicos (DUTRA JÚNIOR, 2010; ALVES et al., 2013).

4.3 ANÁLISE ANATÔMICA QUANTITATIVA DA MADEIRA

O resumo da análise de variância em função da posição longitudinal e radial, assim como a interação entre esses dois fatores, pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo da análise de variância da espécie *Z. ekmanii*.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | | CF | EP | DL | CV | DV | FV |
| Posição Longitudinal | 2 | 4785612,96* | 1,21* | 700,88* | 55529,81* | 9128,34* | 15,86* |
| Posição Radial | 2 | 5022305,16* | 0,66* | 886,02* | 92204,36* | 292964,69* | 13,11* |
| Longitudinal*Radial | 4 | 148077,17* | 0,27* | 243,39* | 40066,83* | 28034,07* | 13,06* |
| Erro | 1611 | 44639,81 | 0,08 | 24,03 | 5770,71 | 786,18 | 0,36 |
| Total corrigido | 1619 | | | | | | |

Continua...

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|
| | | HR | LR | NCRA | NCRL | FR | DPI | DPRV |
| Posição Longitudinal | 2 | 44,53* | 0,55* | 0,84* | 0,49* | 0,14* | 0,34* | 15,96* |
| Posição Radial | 2 | 921,16* | 1,05* | 67,69* | 4,74* | 1,13* | 0,72* | 111,27* |
| Longitudinal*Radial | 4 | 20,30* | 0,05* | 1,20* | 0,13* | 0,44* | 0,07* | 3,13* |
| Erro | 1611 | 6,18 | 0,02 | 0,32 | 0,04 | 0,11 | 0,00 | 0,46 |
| Total corrigido | 23 | | | | | | | |

GL: graus de liberdade; **CF:** comprimento das fibras; **EP:** espessura da parede; **DL:** diâmetro do lume; **CV:** comprimento dos vasos; **DV:** diâmetro dos vasos; **FV:** frequência dos vasos; **HR:** altura dos raios; **LR:** largura dos raios; **NCRC:** número de células de raios altura; **NCRL:** número de células de raios largura; **FR:** frequência dos raios; **DPI:** diâmetro pontuações Intervasculares; **DPRV:** diâmetro pontuações raio-vasculares; *: significativo a 5% pelo teste F.

Verifica-se que para todas as variáveis anatômicas avaliadas, os efeitos principais e a interação, foram significativos. A interação significativa indica que existe dependência entre os fatores (posição longitudinal e radial), logo deve-se fazer seu desdobramento e avaliação de um efeito dentro do outro.

A comparação dos dados médios das variáveis anatômicas avaliadas, são apresentados nos gráficos abaixo. Nota-se (Gráfico 2) que houve diferença significativa, tanto no sentido radial (medula-casca), quanto no longitudinal (base-topo) para as variáveis comprimento, diâmetro e frequência dos vasos.

Observa-se que para o comprimento dos vasos obteve-se um valor médio de 376,87 µm, com máximo de 403,23 µm (altura 50%) e mínimo de 352,12 µm (altura 100%).

Para o diâmetro dos vasos foi obtido um valor médio de 130,45 µm, com máximo de 153,70 µm (altura 50%) e mínimo de 88,67 µm (altura 0%).

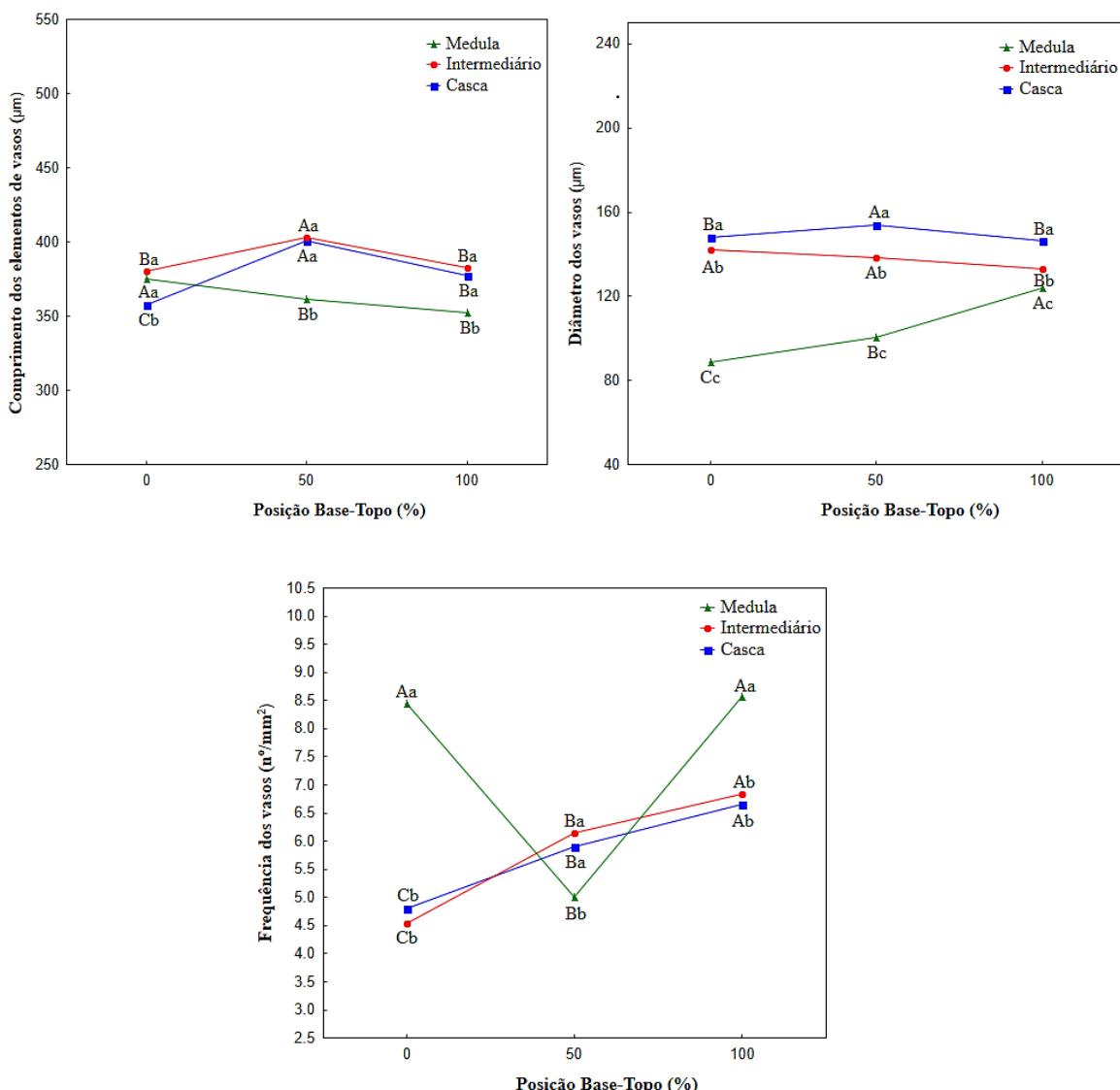
Já na frequência dos vasos, obteve-se um valor médio de 6,32 n°/mm², com máximo 8,58 de n°/mm² (altura 100%) e mínimo 4,54 n°/mm² (altura 0%).

Os dados médios dessas variáveis anatômicas encontrados para *Z. ekmanni*, mostraram-se próximos aos obtidos por Vieira (2017) e Stange et al. (2019) para espécie do mesmo gênero *Zanthoxylum rhoifolium*, que foi 302,62 µm, 142,52 µm e 18 n°/mm², para comprimento,

diâmetro e frequência dos vasos, respectivamente. Contudo, para a última variável citada, esta mostrou-se superior ao deste estudo. De acordo, com Siegloch (2014) isso pode estar associado as condições ambientais em que essa espécie está inserida, que levam a adaptações e promovem alterações anatômicas no lenho.

Lima et al. (2018) estudando a espécie amazônica *Carapa guianensis* encontrou valores médios próximos ao deste estudo de 419,41 µm para comprimento de vasos, 162,82 µm para diâmetro e 9,20 n°/mm² de frequência dos vasos. Já Lobão et al. (2011) analisando a espécie *Cedrela odorata* também obteve valores bem próximos a este estudo que foi de 388,00 µm no comprimento de vasos, 146,00 µm para o diâmetro de vasos e 5,17 n°/mm² de frequência de vasos.

Gráfico 2. Variação do comprimento, diâmetro e frequência dos vasos no sentido longitudinal e radial da madeira de *Z. ekmanii*.



- Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância.
- Letras maiúsculas considera-se o sentido longitudinal e as minúsculas referem-se ao sentido radial.

Pode-se observar ainda, que no comprimento de vasos o sentido longitudinal aumentou da base até altura de 50% e a partir desse ponto decresceu no topo (altura 100%). No radial as posições próximas a casca e intermediário apresentaram médias iguais (50-100%), exceto na região 0%, em que a região intermediária não diferiu da medula. Vale mencionar que vasos mais longos ou curtos, estão relacionados com o fluxo de água dentro da árvore, sendo que espécies de florestas tropicais e de baixa densidade tendem a apresentar vasos longos, largos e com paredes delgadas, e vice-versa (CARLQUIST, 1977; POORTER et al., 2010).

Para diâmetro dos vasos, o sentido longitudinal apresentou um leve aumento na altura (50%) e diminuiu na direção ao topo (100%), demonstrando uma diferença pouco acentuada ao longo do fuste. Vidaurre et al. (2018) relataram um padrão de variação semelhante na madeira de *Schizolobium amazonicum*, ou seja, observaram que o diâmetro dos vasos aumentou da base para 50% do comprimento do tronco, tendo, a partir desta posição um pequeno decréscimo na amostragem realizada a 100% da altura comercial.

Já o sentido radial apresentou diferença significativa, com aumento crescente dessa variável no sentido medula-casca (alturas 0-100%). Este mesmo comportamento foi encontrado por Urbini et al. (2003) e Vidaurre et al. (2018) em espécies tropicais, em que estes relatam que a variação dos elementos anatômicos é menor no sentido longitudinal do que no radial.

Na frequência dos vasos, verifica-se um comportamento oposto, ou seja, houve um aumento dessa variável da base para o topo, enquanto no radial os valores próximos a casca e intermediário não diferiram entre si (0-100%), exceto para a região próxima a medula.

Esse aumento da frequência, pode ser explicado, em função da diminuição do diâmetro dos vasos nesse mesmo sentido, ou seja, essas variáveis são inversamente proporcionais, quanto menor o diâmetro, maior a frequência de vasos por mm^2 , característica essa que acaba inferindo diretamente na qualidade físico-mecânica da espécie. Para Melo et al. (2013) essas variáveis tendem a se estabilizar nas posições mais externas da árvore, ou seja, vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta, promovendo certo equilíbrio das dimensões e da frequência dos elementos celulares.

De madeira geral, verifica-se que os vasos variam quanto ao diâmetro, frequência, forma e arranjo dentro da árvore, e acabam por refletir diretamente no processo de maturação e estabilização do câmbio vascular.

No Gráfico 3, observa-se as variações no sentido longitudinal e radial do comprimento, diâmetro do lume e espessura da parede celular das fibras.

Verifica-se que para o comprimento das fibras foi obtido um valor médio de 1012,01 µm, com máximo de 1173,71 µm (altura 0%) e mínimo de 795,02 µm (altura 100%).

Para o diâmetro do lume obteve-se um valor médio de 15,84 µm, com máximo de 18,24 µm (altura 50%) e mínimo de 12,54 µm (altura 0%).

Já na espessura da parede, encontrou-se um valor médio de 3,48 µm, com máximo 3,93 µm (altura 0%) e mínimo 3,14 µm (altura 50%).

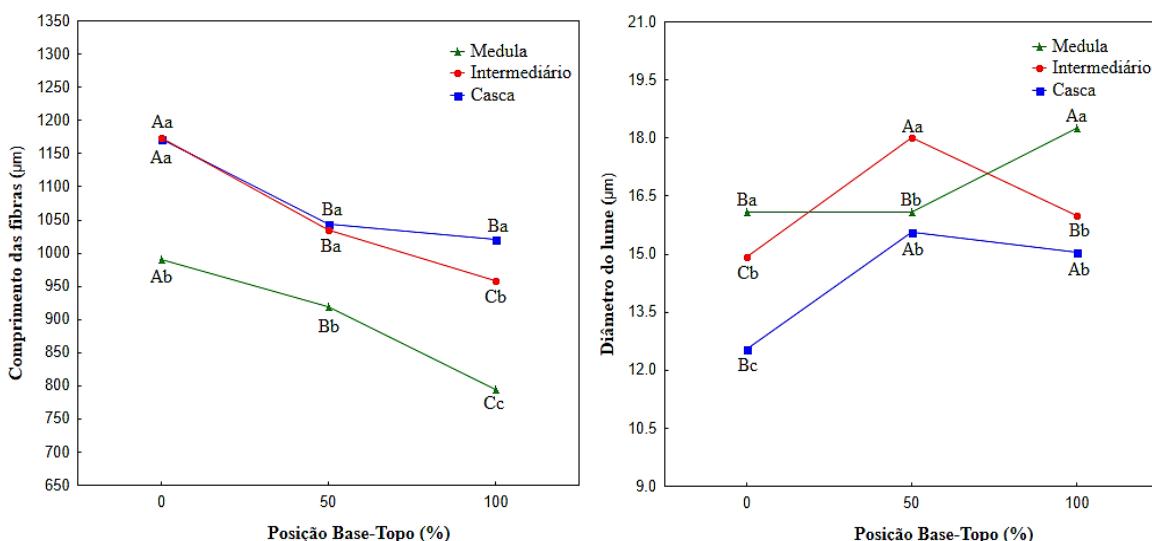
Os valores médios obtidos para essas variáveis anatômicas na espécie desse estudo, se aproximam dos encontrados por Loureiro et al. (1981) para duas espécies do mesmo gênero, onde este obteve valores para *Zanthoxylum compactum* de 1160-1360 µm, 3-6 µm e 3 µm e *Zanthoxylum rhoifolium* de 860-1170 µm, 6-9 µm e 3 µm, respectivamente para comprimento de fibras, diâmetro do lume e espessura da parede.

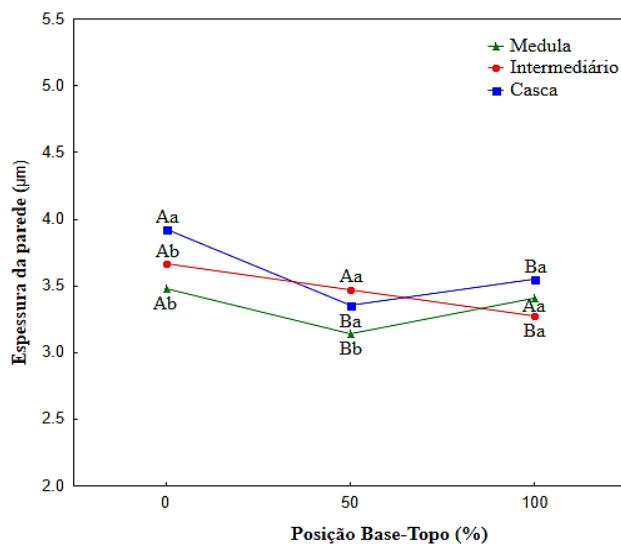
Vieira (2017) também encontrou para espécie *Zanthoxylum rhoifolium* valores de 1024,49 µm (comprimento de fibras), 11,55 µm (diâmetro do lume) e 3,66 µm (espessura da parede). Os valores encontrados por esse autor para comprimentos de fibras são bem próximos dos encontrados nesse estudo.

Nos estudos de Silva et al. (2016) caracterizando a espécie nativa *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em diferentes localidades, encontrou valores médios para comprimento de fibras de 1191,96 µm, para diâmetro do lume 19,50 µm e espessura de parede da fibra de 4,20 µm, valores aproximados ao deste estudo, apesar de um pouco superiores. O mesmo autor relata que as dimensões celulares das células vegetais não dependem apenas de fatores ambientais, mas também das suas potencialidades genéticas e características fenotípicas.

De maneira geral, os valores encontrados para o comprimento de fibras da espécie *Z. ekmanii*, a enquadram na classificação do IAWA (1989) como curtas.

Gráfico 3. Variação do comprimento das fibras, diâmetro do lume e espessura da parede no sentido longitudinal e radial da madeira de *Z. ekmanii*.





- Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância.
- Letras maiúsculas considera-se o sentido longitudinal e as minúsculas referem-se ao sentido radial.

Nota-se ainda, que o comprimento das fibras da espécie *Z. ekmanii* no sentido longitudinal, apresentou forte decréscimo da base (altura 0%) até o topo (altura 100%), demonstrando assim, diferença significativa ao longo do fuste. Já no radial as posições casca e intermediário apresentaram médias iguais nas alturas (0-50%), exceto na altura 100%, em que as três posições diferiram estatisticamente. Este mesmo comportamento de decréscimo base-topo e aumento no sentido medula-casca, foi observado por Rocha et al. (2004) e Gil et al. (2018) nas espécies *Eucalyptus saligna* e *Tectona grandis*, respectivamente. Segundo Zobel e Buijtenen (1989) e Gatto et al. (2012) as mudanças no comprimento das fibras acontecem de forma diferenciada entre espécies, porém, o mais comum é observar fibras mais longas na base e nas regiões mais próximas ao câmbio, essa variação pode ser explicada pelo aumento na proporção de lenho juvenil no sentido do topo e da medula, que acabam por se estabilizar na madeira adulta. Vale destacar, que o comprimento da fibra é o melhor parâmetro para diferenciar a madeira juvenil da adulta (VIDAURRE et al., 2011).

Além disso, de acordo com Burguer e Richter (1991) as fibras libriformes são muito importantes no aumento da resistência mecânica do lenho das dicotiledôneas, e estes enfatizam a alta correlação entre o percentual dessa variável anatômica com a densidade e a resistência mecânica das espécies florestais.

No diâmetro do lume verifica-se que no longitudinal, houve um aumento dessa variável na altura 0% para altura 50% e decréscimo no topo (100%), nas regiões próximas a casca e intermediário, com exceção na região da medula em que ocorreu o inverso, demonstrando

assim, diferenças significativas não uniformes entre as alturas. Já no radial, observa-se um aumento do diâmetro do lume da casca para medula, com médias iguais nas alturas (50-100%), exceto na altura 0%, em que as três posições diferiram entre si estatisticamente. Para Florsheim et al. (2009) o diâmetro do lume está relacionado com a largura e espessura da parede da fibra, ou seja, quanto maiores são os seus valores, mais espaços vazios são encontrados na madeira, consequentemente menor densidade. Fato que explica o aumento do diâmetro do lume e diminuição da espessura da parede no sentido base-topo e casca-medula.

Para a espessura da parede, nota-se que no sentido longitudinal ocorreu uma diminuição das médias no sentido base-topo. Em contrapartida, no radial houve um aumento crescente dessa variável no sentido medula-casca, apesar de apresentarem pouca diferença significativa entre si, nas diferentes alturas ao longo do fuste. Ruy (1998) e Freitas et al. (2015) observaram em seus estudos que a espessura da parede das fibras tem forte correlação com a densidade básica do lenho, logo, essa variável influência nas características e uso final da madeira.

Nos estudos de Lima et al. (2008), Garcia et al. (2009) e Longui et al. (2011), estes autores observaram que o diâmetro do lume diminuiu e a espessura da parede aumentou em direção a casca, comportamento semelhante ao da espécie *Z. ekmanii*.

Em suma, é possível constatar que as características das fibras influenciam diretamente nas propriedades da madeira, isso ocorre principalmente, porque essas células constituem a maior parte dessa matéria-prima.

No Gráfico 4, é possível observar as variações no sentido longitudinal e radial das pontuações intervesselares e raio-vasculares.

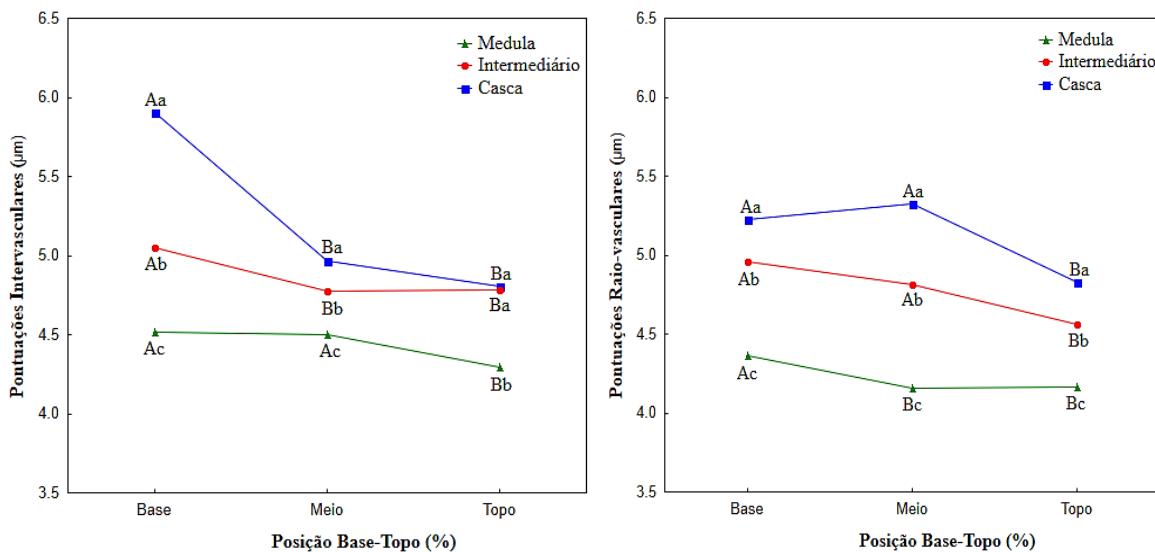
Percebe-se que para as pontuações intervesselares obteve-se um valor médio de 4,84 µm, com máximo de 5,05 µm (altura 0%) e mínimo de 4,30 µm (altura 100%).

Já em relação as pontuações raio-vasculares, registrou-se um valor médio de 4,71 µm, com máximo de 5,33 µm (altura 50%) e mínimo de 4,15 µm (altura 50%).

Loureiro et al. (1981) e Monteiro et al. (2017) encontraram valores médios semelhantes para a espécie do mesmo gênero *Zanthoxylum machadoi* entre 4-6 µm (pontuações intervesselares) e *Corymbia citriodora* entre 4,5-5 µm (pontuações raio-vasculares).

Verificou-se ainda, que o resultado obtido para *Z. ekmanii* foi bem próximo, aos obtidos por Trevizor (2011) que estudando a anatomia de algumas espécies amazônicas, encontrou valores médios de pontuações para espécie Andiroba - *Carapa guianensis* (3,72 µm), Sapucaia - *Lecythis pisonis* (4,16 µm), Cupiúba - *Goupia glabra* (4,76 µm) e Angelim-Pedra - *Hymenolobium modestum* (4,61 µm).

Gráfico 4. Variação das pontuações intervasculares e raio-vasculares no sentido longitudinal e radial da madeira de *Z. ekmanii*.



- Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância.
- Letras maiúsculas considera-se o sentido longitudinal e as minúsculas referem-se ao sentido radial.

Percebe-se ainda, que o diâmetro das pontuações intervasculares apresentou diferença significativa no longitudinal, com diminuição em seus valores da base (altura 0%) até o meio (altura 50%) e a partir desse ponto ocorreu estabilização (altura 100%). No radial, também houve diferença significativa entre as posições, com os maiores valores próximos a casca.

As pontuações raio-vasculares, também apresentaram diferenças significativas ao longe do fuste, com diminuição de seus valores da base (0%) para o topo (100%), apesar de apresentar uma leve estabilização na altura 50%. No sentido radial todas as posições diferiram entre si, com aumento crescente dos valores no sentido medula-casca. Choat et al. (2008) relatam que as pontuações participam da condução lateral da água, facilitando seu fluxo entre vasos e representam mais de 50% da resistência dos vasos à cavitação ou embolismo. Segundo Lens et al. (2009) vasos longos e largos podem apresentar um maior número de pontuações do que vasos curtos e estreitos.

Magalhães et al. (2004) e Silva (2007) afirmam em seus estudos que a permeabilidade dentro da árvore depende da posição do tronco, e se a madeira é de lenho juvenil ou tardio, sendo que madeiras de lenho tardio apresentam melhor fluxo de água entre seus elementos anatômicos do que na madeira juvenil.

No Gráfico 5, observa-se os resultados das variações no sentido longitudinal e radial dos raios na madeira de *Z. ekmanii*.

Nota-se abaixo, que foram obtidos valores médios de 325,16 µm e 34,48 µm, com máximo de 379,99 µm e 41,30 µm na altura 0%, e mínimo de 267,87 µm (50%) e 28,39 µm (100%), para altura e largura dos raios, respectivamente.

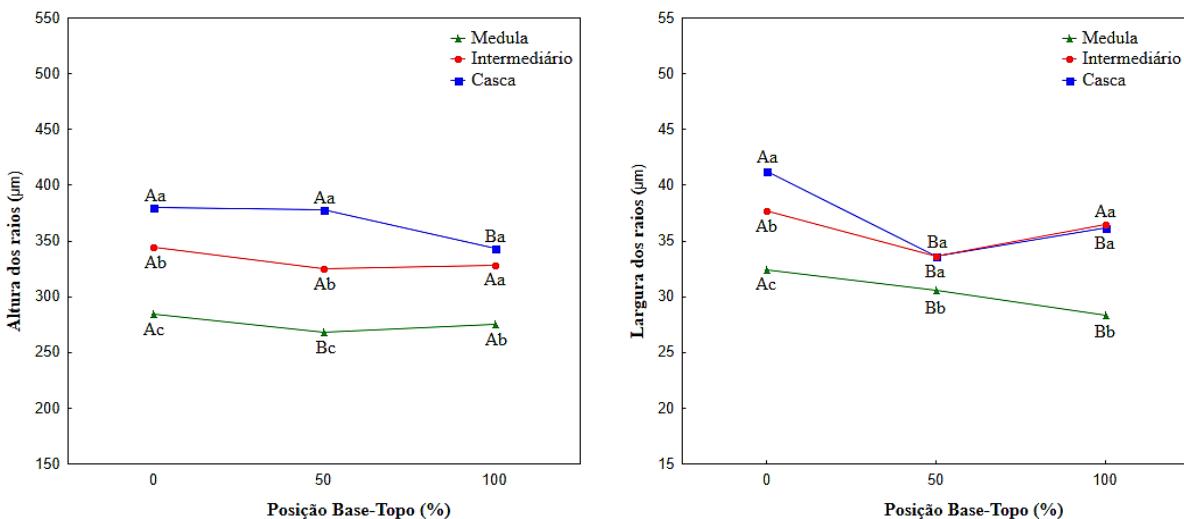
Paula (2003) e Moutinho (2008) estudando as espécies amazônicas *Cecropia palmata* (Imbaúba-branca) obtiveram valores médios de 390 µm e 34 µm e *Eschweilera ograndiflora* (matá-matá preto) de 363 µm e 22,40 µm para altura e largura dos raios, respectivamente.

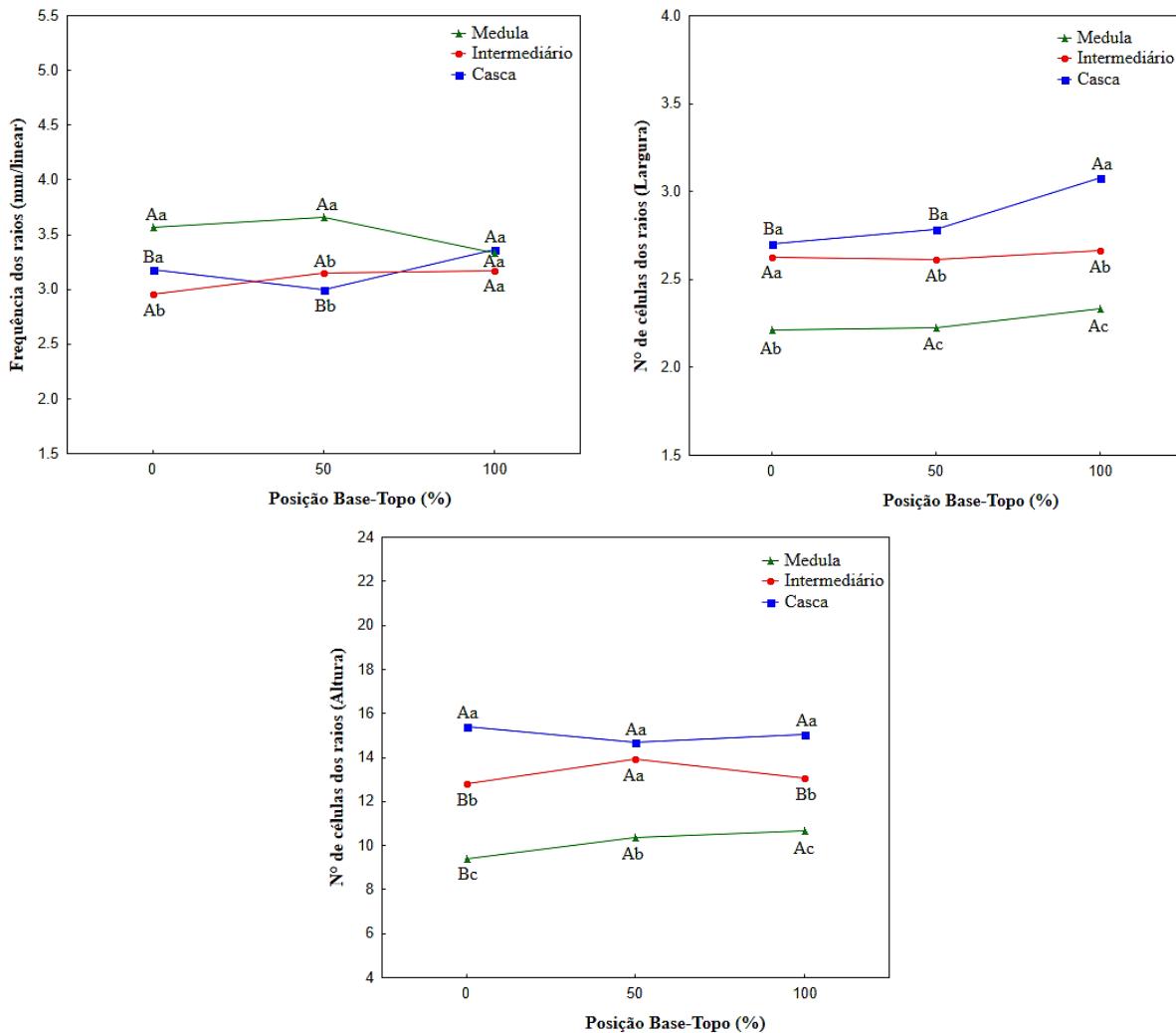
Para o número de células na altura dos raios, obteve-se um valor médio de 12,81, com máximo de 15,41 e mínimo de 9,40 na altura de 0%. Já para número de células na largura dos raios, registrou-se valor médio de 2,58, com máximo de 3,08 (100%) e mínimo de 2,21 (0%).

Reis et al. (2014) encontrou valores aproximados para as espécies do gênero *Erisma rudge* ocorrentes na Amazônia, valores médios de 11,10 e 2,20 (*Erisma bicolor*) e 9,56 e 2,30 (*Erisma splendens*), para número de células na altura e largura dos raios, respectivamente.

Em relação a frequência dos raios, foi obtido um valor médio de 3,26 de raio por mm/linear, com máximo de 3,66 mm/linear (50%) e mínimo de 2,96 mm/linear (0%). Loureiro et al. (1981) obteve, para a espécie *Zanthoxylum dellomei*, valores de frequência semelhantes ao *Z. ekmanii* variando entre 3-6 raios mm/linear. Assim como Lima et al. (2011), obteve para *Tectona grandis* valores variando entre 380-317 µm (altura), 49,60-52 µm (largura) e 3,97-4,37 µm (frequência).

Gráfico 5. Variação da altura, largura, número de células (comprimento e largura) e frequência dos raios no sentido longitudinal e radial da madeira de *Z. ekmanii*.





- Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância.
- Letras maiúsculas considera-se o sentido longitudinal e as minúsculas referem-se ao sentido radial.

Além disso, observa-se que na altura dos raios houve diferença significativa em algumas alturas, ao longo do fuste, exceto quando próximo da casca. No sentido radial todas as médias diferiram entre si (alturas 0-50%), com exceção na altura 100%, em que só a região próxima da medula diferiu. Para a variável largura dos raios no sentido longitudinal, as médias diferiram apenas nas alturas 0-50%. Já no radial, a diferença significativa entre as três posições radiais, ocorreu apenas na base do tronco, já que nas alturas seguintes, apenas a região da medula diferiu.

Em relação ao número de células na altura ocorreu pouca diferença entre os valores no sentido longitudinal, sendo que na região próxima a casca as médias foram iguais. No radial, houve diferença significativa com menores valores na medula.

Variação semelhante, foi observado para o número de células na largura, onde verifica-se que no longitudinal, não houve diferença significativa ao longo do fuste, quando próximo da

região intermediária e medula. No radial, houve diferença entre as três posições nas alturas 50-100%, sendo que na altura 0%, casca e intermediário não diferiram.

Na frequência dos raios, houve diferença significativa por milímetro linear no sentido longitudinal, apenas na região da casca. No sentido radial, as médias também diferiram, exceto na região do topo, em que estas foram iguais.

Pode-se observar que as maiores médias ocorreram na região próximo da casca, tanto para altura, quanto na largura dos raios. Longui et al. (2010) observou essa mesma variação analisando *Piptadenia gonoacantha*, assim como a estabilidade do meio para a extremidade do fuste. O comportamento de maior frequência de raios na região da medula, também foi verificado pelo mesmo autor, em que relata que essa maior quantidade de raios em conjunto com outras variáveis anatômicas, contribuiu para a ocorrência de menor densidade nessa região.

De maneira geral, existem poucos trabalhos na literatura que enfatizam a influência do crescimento da árvore sobre a morfologia dos raios.

4.4 ANÁLISE FÍSICA DA MADEIRA

Os dados médios de umidade, densidade básica e aparente da madeira de *Z. ekmanii* são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios do teor de umidade, densidade básica e aparente da madeira de *Z. ekmanii*.

| | Tu (%) | ρbás (g.cm ⁻³) | ρap12% (g.cm ⁻³) |
|--------------------|--------|----------------------------|------------------------------|
| Média Geral | 117,37 | 0,42 | 0,50 |
| DP | 26,31 | 0,09 | 0,11 |
| CV (%) | 22,41 | 21,25 | 21,84 |

Tu: Teor de umidade; **ρbás:** Densidade Básica; **ρap12%:** Densidade aparente a 12%.

Observa-se que o valor médio obtido para umidade foi de 117,37%, ou seja, o teor de umidade médio da madeira desse estudo foi classificado como alto. De acordo com Martins et al. (2017) o conhecimento da umidade na madeira é de grande importância, inferindo diretamente nos custos, pois com a sua determinação é possível saber, se está transportando mais água do que material madeira em si, fazendo com que se tenha um produto final de maior qualidade e com um menor gasto de produção.

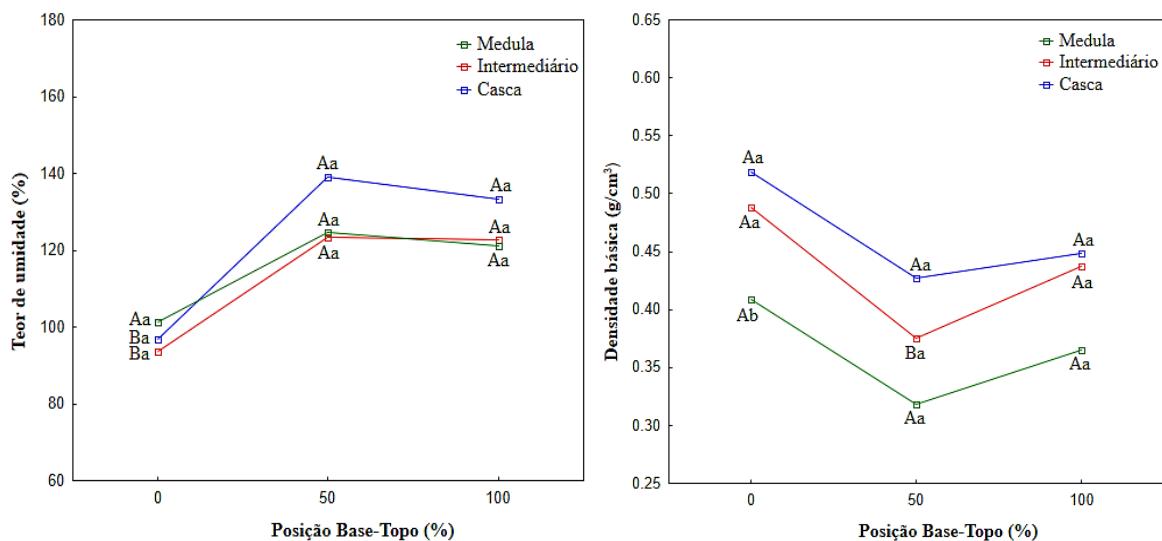
O valor médio geral de densidade básica e aparente obtida para a madeira de *Z. ekmanii* foi de 0,42 g/cm³ e 0,50 g/cm³, o que a classifica como madeira leve, correspondente a densidade até 0,50 g/cm³. Resultado próximo de densidade básica foi encontrado para a mesma espécie por Aguiar (2015), Martins e Abreu (2019) e Andrade et al. (2019) que foi de 0,50 g/cm³, 0,45 g/cm³ e 0,47 g/cm³, respectivamente. Para o mesmo gênero, também foram obtidos

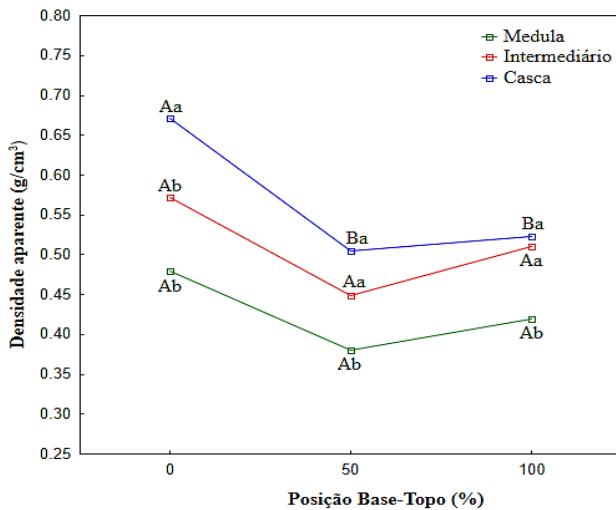
valores aproximados ao deste estudo, com as espécies *Zanthoxylum tingoassuiba* - 0,49 g/cm³ (Mendes et al., 1999), *Zanthoxylum regnelianum* - 0,50 g/cm³ (Araújo, 2007) e *Zanthoxylum rhoifolium* - 0,45 g/cm³ e 0,52 g/cm³ (Mello, 2018), sendo este último para densidade básica e aparente.

Em comparação com algumas espécies amazônicas de valor comercial, também foram encontrados resultados de densidade semelhantes aos obtidos por este estudo, na espécie Tauari - *Couratari oblongifolia* - 0,50 g/cm³ (Araújo, 2007), Paricá - *Schizolobium amazonicum* - 0,42 a 0,51 g/cm³ (Lobão et al., 2012), Faveira – *Parkia gigantocarpa* - 0,48 g/cm³ (Miranda et al., 2012), e Cedro - *Cedrela odorata* - 0,41g/cm³ (Fernandes et al., 2018), as quais são usadas na fabricação de chapas de compensados, móveis, embarcações, portas, instrumentos musicais e entre outros (IPT, 2021), inferindo assim, que a espécie deste estudo, possui inúmeros possibilidades de uso dentro do setor madeireiro.

No Gráfico 6, pode ser visualizado as variações no sentido longitudinal e radial do teor de umidade, densidade básica e aparente na madeira de *Z. ekmanii*.

Gráfico 6. Variação do teor de umidade e da densidade básica e aparente no sentido longitudinal e radial da madeira de *Z. ekmanii*.





- Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância.
- Letras maiúsculas considera-se o sentido longitudinal e as minúsculas referem-se ao sentido radial.

Nota-se no Gráfico 6, que no sentido longitudinal o teor de umidade seguiu um padrão crescente da base até a posição 50%, com estabilização na altura 100%, apresentando assim, diferença significativa apenas na região da base. No sentido radial não houve diferença significativa.

Para densidade básica, verificou-se que não houve diferenças significativas entre as posições. Contudo, é possível notar que no sentido longitudinal e radial os valores de densidade seguiram um padrão decrescente da base até a altura 50%, aumentando novamente na região do topo e no radial aumentou da medula para a casca.

Em relação a densidade aparente (12%), esta apresentou o mesmo padrão decrescente, ou seja, com maiores valores médios na região da base do tronco e na região da casca. Pode-se notar ainda, que no sentido radial a região da medula diferiu estatisticamente das outras duas posições, exceto na região da base que diferiu apenas da casca. Essas variações de umidade e densidade no longitudinal e radial, também foram observadas nos estudos de Colli (2007), Valente et al. (2013), Coelho et al. (2014) nas espécies amazônicas *Schizolobium amazonicum* (Paricá), *Anadenanthera peregrina* (Angico vermelho) e *Iryanthera grandis* (Envira-punã).

Além disso, vale mencionar que devido as poucas diferenças estatísticas verificadas na densidade, isso implica em uma maior homogeneidade do lenho da espécie deste estudo, influenciando diretamente no uso final dessa madeira.

Panshin e Zeeuw (1980) relatam em seus estudos que a densidade na madeira de folhosas, pode apresentar diferentes comportamentos de variação, dentre eles têm-se no sentido

longitudinal a diminuição da densidade até o meio do tronco e a partir deste ponto apresentar acréscimo, assim como o aumento da medula para a casca no radial.

Pode-se visualizar ainda, que os parâmetros de teor de umidade e densidade exibem uma correlação negativa, ou seja, quando os valores médios de umidade aumentam a densidade diminui. Tal comportamento, é esperado devido as características anatômicas do lenho juvenil e adulto presente na árvore, em que madeiras menos densas apresentam mais espaços vazios e consequentemente mais água em seu interior e vice-versa.

Sette Júnior et al. (2012) relatam que o incremento da densidade do lenho se dá devido a alterações do meristema cambial, em que à medida que é formado o lenho adulto, a espessura da parede das fibras aumenta e a frequência e número de vasos diminui, para suprir as exigências mecânico-fisiológicas derivadas do processo de desenvolvimento das árvores, fazendo com que ocorra essas variações tanto no sentido medula-casca, como no base-topo.

Em geral, a estrutura anatômica influencia na densidade da madeira, e esta última por sua vez infere sobre outras propriedades tecnológicas, sendo assim, considerada um parâmetro que influencia diretamente na qualidade da madeira, favorecendo o uso diverso e racional dessa matéria-prima.

Os valores médios das contrações tangencial, radial e volumétrica, coeficiente de retratibilidade (tangencial e radial) e fator anisotrópico da madeira de *Z. ekmanii* são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores médios de contrações tangencial, radial e volumétrica, coeficiente de retratibilidade radial e tangencial e fator anisotrópico da madeira de *Z. ekmanii*.

| | ϵ_t (%) | ϵ_r (%) | Δv | Qt | Qr | FA |
|--------------------|------------------|------------------|------------|-------|--------|-------|
| Média Geral | 6,46 | 3,72 | 10,35 | 0,29 | 0,23 | 1,77 |
| DP | 1,06 | 0,72 | 2,09 | 0,22 | 0,30 | 0,30 |
| CV (%) | 16,44 | 19,29 | 20,18 | 76,41 | 128,83 | 16,65 |

DP: Desvio padrão; **CV:** Coeficiente de variação (CV), **ϵ_t :** Contração tangencial; **ϵ_r :** Contração radial; **Δv :** Contração volumétrica; **Qt:** Coeficiente de retratibilidade tangencial; **Qr:** Coeficiente de retratibilidade radial; **FA:** Fator anisotrópico.

Pode-se visualizar (Tabela 5) que a contração tangencial foi maior que a contração radial, e esta por sua vez é muito maior do que a contração longitudinal, sendo esta última não citada no estudo devido seus valores serem praticamente desprezíveis. Tal comportamento é frequentemente relatado na literatura para as espécies florestais, isso porque essas diferenças são atribuídas as estruturas microscópicas e submicroscópicas da própria madeira.

Observa-se que os dados médios totais encontrados para contração na madeira de *Z. ekmanii*, mostraram-se próximos com exceção do fator anisotrópico que foi bem mais superior, aos valores obtidos por Martins e Abreu (2019) para a mesma espécie, onde encontraram

6,15%, 4,95%, 11,19% e 1,17 para contração tangencial, radial, volumétrica e fator anisotrópico, nessa ordem.

Nota-se ainda que os coeficientes de variação obtidos para os resultados de contração e fator anisotrópico mostraram-se inferiores a 25%, o que indica homogeneidade no lenho, o que favorece a utilização dessa espécie, em aplicações que exigem uma maior estabilidade dimensional. Fato condizente com a literatura, pois, Oliveira et al. (2010) afirmam que valores inferiores de desvio padrão e coeficiente de variação pressupõe maior uniformidade do tecido lenhoso.

Na contração tangencial e radial, verifica-se que os valores observados para *Z. ekmanii* aproximaram-se aos valores médios de algumas espécies nativas como *Couratari guianensis* 6,10% e 3,6% (ARAÚJO, 2007), *Calycophyllum spruceanum* 6,79% e 4,59% (ANDRADE et al., 2020) e *Cordia goeldiana* 6,70% e 3,20% (IPT, 2021).

Ao se analisar a contração volumétrica, o resultado obtido está próximo dos observados por *Schizolobium amazonicum* - 12,07% (LOBÃO et al., 2011), *Toona ciliata* (TRIANOSKI et al., 2014) e *Simarouba amara* – 9,85% (NEVES et al., 2015).

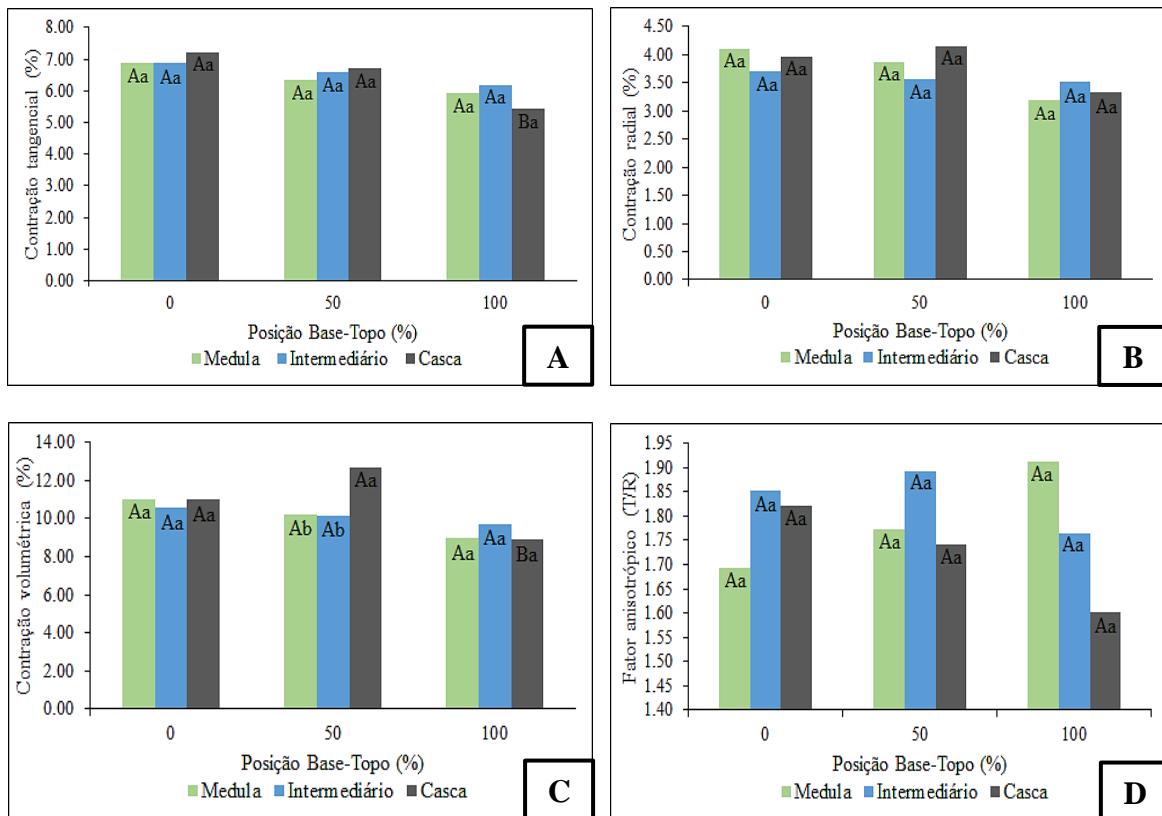
São consideradas madeiras de variação baixas as que possuem valores de 4 a 9%, entre 9 e 14% são consideradas médias e as que apresentam valores de 14 a 18% são madeiras que sofrem forte variação volumétrica (GONÇALEZ, 1993). Sendo assim, *Z. ekmanii* foi definida como uma espécie de média contração volumétrica.

Em relação aos valores de coeficiente de retratibilidade, estes expressam a variação dimensional (em %) para cada 1% de variação de umidade. Segundo Batista et al. (2010) na prática, a madeira não é seca a 0% de umidade, então por causa disso o conhecimento do coeficiente retratibilidade torna-se importante, em relação às contrações máximas, para o cálculo da redução de volume da madeira por contração de um determinado teor superior de umidade até outro inferior.

A respeito do resultado obtido para o fator anisotrópico este aproxima-se de valores encontrados para as espécies Pequeriana (*Caryocar glabrum*) Tangencial/Radial: 1,63, Ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolia*) T/R: 1,62 e Sucupira-amarela (*Ferreirea spectabilis*) T/R: 1,71 (BRANDÃO, 2011; ROCHA et al., 2014; LIMA et al., 2020). Segundo classificação de Moreschi (2010) a espécie pode ser classificada como madeira de qualidade normal que fica entre 1,60 e 1,90, podendo ser indicada para usos de marcenaria, laminados e moveleira.

No Gráfico 7, pode ser mais bem visualizado as variações no sentido longitudinal e radial da contração tangencial, radial, volumétrica e fator anisotrópico na madeira de *Z. ekmanii*.

Gráfico 7. Variação da contração tangencial (A), radial (B), volumétrica (C) e fator anisotrópico (D) no sentido longitudinal e radial da madeira de *Z. ekmanii*.



- Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância.

- Letras maiúsculas considera-se o sentido longitudinal e as minúsculas referem-se ao sentido radial.

Pode-se observar que para a contração tangencial houve tendência decrescente no sentido longitudinal (base-topo), variando de 6,98% a 5,84%, com diferença significativa apenas na altura 100% em que a região da casca diferiu. Na variação radial apesar de não apresentar diferenças significativas, ocorreu o mesmo comportamento, com maiores valores na casca e menores na medula, exceto na região do topo.

No longitudinal, a contração radial apresentou decréscimo dos valores médios da base em direção ao topo, variando de 3,93% para 3,35%, nessa ordem. Para a variação radial, não foi observado um padrão de variação. Não ocorreu diferenças significativas entre as posições.

Na variação longitudinal da contração volumétrica verificou-se também uma tendência decrescente da base em direção ao topo, variando de 10,85% a 9,20%, valores estes poucos elevados, e com diferença significativa apenas na região da casca (altura 100%). No sentido radial, verificou-se maiores valores próximos a casca nas alturas 0% e 50%, sendo que na região do topo não foi observado o mesmo comportamento. Vale mencionar que, madeiras que apresentam contrações volumétricas pouco elevadas são consideradas dimensionalmente

excelentes, implicando em poucos defeitos durante sua secagem, o que acaba por facilitar seu uso industrial (MARTINS; ABREU, 2019)

Os maiores valores de contração na casca, estão condizentes com a literatura, pois Oliveira et al. (2003) relata que normalmente, as contrações transversais são menores próximo à medula (madeira juvenil), crescendo rapidamente desta para a casca, sendo que essa mudança é proveniente da rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com o aumento do comprimento da célula e do teor de celulose.

Além do mais, as madeiras mais densas, por terem maior concentração de células com paredes mais espessas, tendem a absorver mais água por unidade de volume e consequentemente, a expandir ou contrair mais do que aquelas de menor densidade, isso explica as maiores contrações próximas a casca (BASSET, 1994; OLIVEIRA et al. 2010).

Para o fator anisotrópico nota-se que não houve um padrão específico de variação no sentido longitudinal. Já no radial, apenas a região do topo apresentou diminuição da medula para a casca, porém sem diferença significativa. Pode-se dizer, que valores reduzidos desse fator próximo da casca ou da base, inferem que a madeira dessa região do tronco, possui melhor qualidade, ou seja, irá produzir peças de maior estabilidade dimensional e menos propensas a empenamentos e fendilhamento durante a secagem.

Em virtude dos fatos mencionados, é possível afirmar que as variações nas dimensões da madeira, ocasionadas pelo aumento ou diminuição da umidade, são características muito importantes. As mesmas devem ser consideradas durante a escolha do material, pois quanto menor a alteração volumétrica, juntamente com o baixo coeficiente de anisotropia, melhor será a qualidade da madeira em si (TRIANOSKI et al., 2013).

4.5 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

Na Tabela 6, consta os resultados da análise química da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* no sentido longitudinal do tronco.

Tabela 6. Variação da composição química no sentido longitudinal da madeira de *Z. ekmanii*.

| Posição Longitudinal (%) | Composição Química (%) | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| | AF | AQ | NaOH | ET | C | L | H |
| 0 | 3,52 A* | 4,69 A | 15,95 A | 6,04 A | 0,42 B | 20,90 A | 72,63 A |
| | (0,38) ¹ | (0,24) | (0,19) | (0,32) | (0,05) | (2,29) | (2,26) (3,12) |
| | (10,87) | (5,03) | (1,20) | (5,23) | (11,65) | (10,97) | |
| 50 | 2,66 B | 4,24 A | 15,62 A | 5,65 A | 0,45 B | 18,74 A | 75,16 A |
| | (0,46) | (0,77) | (1,01) | (0,62) | (0,07) | (3,87) | (3,66) |
| | (17,45) | (18,27) | (6,49) | (10,99) | (16,15) | (20,68) | (4,87) |
| 100 | 2,86 B | 4,09 A | 15,01 B | 5,67 A | 0,60 A | 18,95 A | 74,77 A |
| | (0,78) | (0,88) | (0,70) | (0,83) | (0,09) | (2,93) | (3,17) |
| | (27,31) | (21,48) | (4,63) | (14,58) | (15,41) | (15,48) | (4,24) |
| Média Geral | 3,01 | 4,34 | 15,53 | 5,79 | 0,49 | 19,53 | 74,19 |

AF: Teor de extrativos solúveis em água fria; **AQ:** Teor de extrativos solúveis em água quente; **NaOH:** Hidróxido de sódio; **ET:** Extrativos totais; **C:** Cinzas; **L:** Lignina; **H:** Holocelulose.

*: Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância.

¹: Valores entre parênteses são desvio padrão e coeficiente de variação (%), respectivamente.

Nota-se que houve diferença estatisticamente significativa ao longo da posição longitudinal, apenas para teor de extrativos solúveis em água fria, NaOH e teor de cinzas.

O valor médio obtido para a análise de água fria e quente foi de 3,01% e 4,34%, nessa ordem, sendo que os maiores valores foram encontrados na base do tronco. Resultados próximos foram encontrados por Moutinho (2008) e Franzen et al. (2018) para Mata-matá - *Eschweilera amazonica* (3,15% e 4,14%) e Sucupira preta - *Pterodon emarginatus* (2,67% e 5,34%), respectivamente para água fria e quente. Sabe-se que água fria extraí substâncias como gomas, taninos, açúcares e corantes, enquanto a água quente, além de extraír as substâncias anteriores, extraí também os amidos, já em NaOH é medido os teores de graxas, resinas e óleos (OLIVEIRA et al., 2005).

Para a solubilidade em NaOH (1%), o valor médio encontrado foi de 15,53%. Observa-se ainda que os valores decresceram da base para o topo. Essa diminuição pode ser explicada pelo percentual de cerne ao longo do fuste, que decresce em direção ao topo, logo o teor de substâncias extrativas que se acumulam nos lumes das células e parede celulares também diminui. Moreira et al. (2016) nos seus estudos relata que o cerne possui maior percentagem de teor de extrativo em relação ao alburno, isto porque o cerne perdeu a capacidade de transporte e criou-se uma condição de deposição dos extrativos nesta parte do lenho.

Franzen et al. (2018) e Souza et al. (2020) encontraram valores próximos ao deste estudo de solubilidade em NaOH para as espécies nativas cumaru-rosa (15,66%) e Ipê (14,09%). Em geral, a durabilidade natural da madeira é dada por extrativos solúveis em NaOH (1%), pois alguns dos compostos solúveis são os terpenóides e substâncias fenólicas que possuem a função de proteção contra-ataques microbiológicos ou ataques por insetos, assim como também pode

indicar o grau de degradação da celulose pelo ataque de agentes xilófagos, calor, luz, oxidação, entre outros (KLOCK; ANDRADE, 2013; TOMAZELI et al., 2016).

Possivelmente, a madeira de *Z. ekmani*, devido ao valor relativamente alto de teor de extractivos solúveis em NaOH (1%), possui uma boa durabilidade, consequentemente maior resistência ao ataque de agentes xilófagos.

Para o teor de extractivos totais, o valor médio obtido foi de 5,79%, sendo observado também uma diminuição ao longo do fuste, com maiores valores próximos a base. Lobão et al. (2011) obtiveram valores médios próximos de extractivos totais para as espécies *Cedrela odorata* e *Eucalyptus grandis* de 5,80% e 4,86%, respectivamente.

Segundo Trugilho et al. (1996) e Silva et al. (2005) os teores de extractivos decrescem na direção base-topo, porque há maior proporção de madeira juvenil no topo da árvore e menor é a proporção da mesma na base, ou seja, essa variação está relacionada diretamente com processo de maturação das árvores.

A respeito do teor de cinzas, obteve-se um valor médio de 0,49%. Nota-se ainda, que houve aumento dos valores da base em direção ao topo. Esse decréscimo também é proveniente do processo de maturação da árvore, oriundo da decorrência da maior atividade fisiológica na região do topo, o que pode acabar por demandar maior quantidade de minerais.

Modes et al. (2018) obtiveram valor semelhante de teor de cinzas na espécie *Schizolobium amazonicum* que foi de 0,49%. Na madeira, o teor de cinzas normalmente tem peso baixo, podendo atingir até 5% em espécies tropicais (FENGEL; WEGENER, 2011).

Em geral, o teor, assim como a composição química das cinzas que inclui cálcio, potássio, magnésio, sílica e etc., depende das condições ambientais em que a espécie está inserida, sendo que quanto menor o teor desses minerais na madeira menor será o desgaste de facas e serras durante o seu processamento (MEDEIROS et al., 2014; BATISTA, 2020).

Para o teor de lignina insolúvel e holocelulose, foram obtidos os valores médios de 19,53% e 74,19%, nessa ordem. De forma geral, os resultados médios encontrados na composição química de *Z. ekmani* aproximaram-se dos obtidos por Pereira (2019) estudando a mesma espécie que foi de 6,92%, 0,54%, 25,83% e 66,69% para extractivos totais, teor de cinzas, lignina e holocelulose, respectivamente. Assim, como também se aproximou de valores médios obtidos por Mendes et al. (1999) para uma espécie do mesmo gênero *Zanthoxylum tingoassuiba* que foram de 5,65% (extractivos totais), 0,84% (teor de cinzas), 17,23% (lignina) e 76,28% (holocelulose).

Pode-se observar também que no sentido longitudinal a maior concentração de lignina foi verificada na base do tronco, com tendência apesar de não uniforme de redução em direção ao

topo. Já para o teor de holocelulose, foi observado o comportamento oposto, ou seja, houve acréscimo nos valores da base em direção a porção mais alta do tronco.

Silva et al. (2005) e Pincelli et al. (2017) verificaram esse mesmo comportamento ao estudarem a composição química ao longo do fuste das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urograndis*. Os mesmos autores ainda relataram que a variabilidade interna das árvores, no sentido longitudinal, influiu mais decisivamente na composição química da madeira que a variação da idade.

De acordo com Zobel e Buijtenem (1989) e Severo et al. (2006) este comportamento verificado na espécie deste estudo, é proveniente do maior percentual de madeira jovem nas regiões mais altas do tronco, quando comparada com a madeira adulta.

Vale et al. (2010) também relata que o teor de lignina apresentou correlação positiva com a densidade básica e teor de holocelulose negativa, indicando que, quanto menor for o teor de lignina, maior será o teor de holocelulose na madeira.

Diante dos fatos mencionados, pode ser afirmar que as características de cada lenho que compõem a árvore influem diretamente na composição química da árvore, assim como o perfil genético e as condições ambientais em que a espécie está inserida.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos para a madeira de *Zanthoxylum ekmanii* pode-se concluir que na:

- Determinação da idade

- As árvores de *Zanthoxylum ekmanii* apresentaram as seguintes idades: 14, 17 e 20 anos.

- Análise anatômica

- A identificação da espécie *Zanthoxylum ekmanii*, utilizando-se a análise da estrutura anatômica de sua madeira, mostrou-se eficiente.
- As variações observadas na posição radial (medula-casca) foram mais destacadas que as observadas ao longo do fuste (base-topo).
- Na variação longitudinal e radial das variáveis analisadas o diâmetro dos vasos tendeu a decrescer da casca em direção à medula e aumentar da base até a altura 50%, com estabilização na região do topo. O comprimento de vasos, apresentou estabilidade entre as posições.
- O comprimento das fibras e a espessura da parede celular aumentaram na direção medula-casca, e decresceram no sentido base-topo.
- O diâmetro do lume aumentou no sentido base-topo e da casca para a medula.
- As pontuações intervasculares e raio-vasculares decresceram no sentido base-topo e diminuíram no medula-casca, com valores médios entre 5,05 a 4,30 μm e 5,33 a 4,15 μm , respectivamente.
- A altura e o número de células dos raios nessa mesma direção, apresentaram no sentido base-topo estabilização, e aumento no sentido medula-casca.
- A largura dos raios diminuiu no sentido base-topo e o número de células, apresentou estabilização, exceto na região da casca. Os maiores valores médios no sentido radial, para esta variável foram encontrados próximo a casca.
- Na frequência dos vasos e raios houve aumento e diminuição da base para o topo, respectivamente. No radial os maiores valores para esta variável foram próximos da medula.

- Análise física

- Na variação longitudinal o teor de umidade cresceu da base em direção ao topo e decresceu da casca em direção a medula.

- A densidade básica e aparente obtida foi de 0,42 g/cm³ e 0,50 g/cm³, sendo assim classificada como madeira leve. A densidade da madeira reduziu da base até altura 50%, aumentando novamente no topo e cresceu da medula para a casca.
- Nas contrações ocorreu valores maiores na base e menores na medula com acréscimo até a região mais periférica do tronco.
- Apresentou estabilidade dimensional moderada, com Fator anisotrópico de 1,77.

- Análise química

- A composição química da madeira de *Z. ekmanii* apresentou valores médios de água fria (3,01%), água quente (4,34%), solubilidade em NaOH (15,53%), extractivos totais (5,79%), cinzas (0,49%), lignina (19,53%) e holocelulose (74,19%).
- Não houve diferença significativa para a maioria das análises ao longo do fuste, exceto para solubilidade em água fria, NaOH e teor de cinzas.
- Os teores de extractivos e lignina foram maiores na região da base do tronco.
- O Teor de holocelulose foi maior na região superior do tronco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- _____. **NBR 7990**: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. Rio de Janeiro: ABNT, p. 4, 2001.
- _____. **NBR 14660**: Madeira - Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro: ABNT, p. 7, 2004.
- _____. **NBR 7988**: Madeira - Determinação do teor de extraíveis com água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7990**: Madeira. Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. Rio de Janeiro, 2010.
- AGUIAR, O. J. R.; VIEIRA, S. B.; RUSCHEL, A. B.; SIVIERO, M. A.; PEREIRA, P. C.; BERBERIAN, G. A. **Potencial silvicultural e industrial da *Zanthoxylum ekmanii* (Urb) Alain, ocorrentes em florestas manejadas no sudeste do Pará**. In: 66º Congresso Nacional de Botânica, Santos, SP, 2015.
- ALVES, R. C. et al. Elaboração de uma chave de identificação das principais madeiras comercializadas no estado do espírito santo. **Enciclopédia biosfera** – Centro científico conhecer, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 979-988, 2013.
- ANDRADE, G. M; ROCHA, J. V. G.; JUNIOR, M. M. B.; BRITO, D. Y. O.; VIEIRA, A. L.M; MELO, L. E. L. Uma contribuição para conservação: caracterização tecnológica da madeira de espécies da Flona Tapirapé-Aquiri. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da madeira. **Anais eletrônicos**...Santarém: IV CBCTEM, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbctem?lang=pt-br>> Acesso em 08/02/2021.
- ANDRADE, J. K. B.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; DA SILVA OLIVEIRA, J. T.; DA SILVA, S. B.; FIRMINO, A. V. Caracterizações anatômicas e físicas da madeira de pau-mulato (*Calycophyllum spruceanum*). **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, p. 2897, 2020.
- ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta e Ambiente**, Curitiba, Paraná, v. 37, n. 3, 2007.
- BASSET, G. Swelling, shrinking and fire resistance. **Asian Timber**, v.13, n.10, p.28-33, 1994.
- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.
- BATISTA, F. G. **Resistência natural de madeiras de cinco espécies do bioma Caatinga em ensaio de campo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.

BORTOLETTO, G. Jr. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, 63: 65-78, 2003.

BRANDÃO, J. B. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de três espécies florestais.** Dissertação de Mestrado, UFA, Manaus, 2011.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** Nobel. São Paulo. 154 p. 1991.

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 64, n. 7, p. 887-896. 1977.

CHOAT, B.; COBB, A.; JANSEN, S. Structure and function of bordered pits: new discoveries and impacts on whole plant hydraulic function. **New Phytologist**, v. 177, 608–626. 2008.

COELHO, J. C.; LIMA, R.; SILVA, J.; CALDERON, C.; CALDERON, R. Variação longitudinal e radial das características anatômicas e físicas da madeira de *Iryanthera grandis* Ducke (Myristicaceae). **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

COLLI, A. **Caracterização da madeira de Paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.).** Dissertação de mestrado, UFV- Viçosa, MG, 2007.

CORADIN, V.T.R.; MUÑIZ, G.I.B. Normas para procedimentos em estudos de anatomia da madeira: I. Angiospermae. II. Gimnospermae. Brasília: IBAMA/LPF, (Série Técnica, 15), 1992.

DUTRA JUNIOR, A. U. **Procedimento padrão para fiscalização de madeira empregando-se tecnologia digital e uso dos resultados no campo de polícia preventiva e judiciaria.** 2010. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Policiais de Segurança e Ordem Pública) – Centro de Altos Estudos de Segurança "Cel PM Nelson Freire Terra" – Polícia Militar do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

FACUNDO, V. A.; SILVEIRA, A. S. P.; FILHO, R. M.; PINTO, A. C.; REZENDE, C. M. Constituintes químicos de *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 224-225, 2005.

FENGEL, D.; WEGENER, G. (Ed.). **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions.** Walter de Gruyter, Berlin, 2011.

FERNANDES, N. C. L.; VALLE, M. L. A.; CALDERON, C. M. A. Características físicas e anatômicas de *Cedrela odorata* L. e *Cedrelinga cateniformis* Ducke. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, G. C.; GOMES, I. J.; HOPIKNS, G. J. M. Estudo anatômico das espécies de Leguminosae comercializadas no Estado do Pará como “angelim”, **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 71-76, 2004.

FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.

FONSECA, C. B.; COSTA, G. F.; DIAS, F. M. Reforço com fibras de vidro em painéis compensados uma alternativa ecológica. **SEGET: Simpósio de excelência em gestão e tecnologia**, v. 8, 2011.

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

FRANZEN, D. C.; MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; MADI, J. P. S.; BORGES, D. S. Estudo das propriedades físicas e químicas de madeiras provenientes de espécies nativas da Amazônia Legal. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.

FREITAS, T. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. G. M.; ARANTES, M. D. C. Correlações entre as características dendrométricas anatômicas e densidade básica da madeira de *liquidambar* sp. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 660, 2015.

GARCIA, M. F.; FLORSHEIM, S. M. B.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L. Variação radial da densidade básica e comprimento de fibras de diferentes procedências de *Carianiana legalis*. **IF Florestal Série Registros**, v. 40, p. 75-80, 2009.

GATTO, D. A. et al. Proportion of juvenile wood of açoita-cavalo, pecan and London plane wood. **International Wood Products Journal**, v.4, n.1, p.33-36, 2012.

GIL, J. L. R. A.; BARBOZA, F. S.; CONEGLIAN, A.; SILVA, M. F.; MORAES, M. D. A.; SETTE JR, C. R. Características físicas e anatômicas da madeira de *Tectona grandis* L. f. aos 7 anos de idade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 529-538, 2018.

GONÇALEZ, J. C. **Caractérisation technologique de quatre espèces peu connues de la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques** [Tese]. Nancy, France: Ecole Nationale dun Génie Rural, des Eaux et des Forêts; 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomass Brasileiros**. Brasília: MMA, 2020. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br>>. Acesso em: 29 de novembro de 2020.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 2^a ed. 2012. Disponível em:<<https://biblioteca.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2020.

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

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil.** Publicação IPT, São Paulo, 2021. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/29.htm> Acesso em 09/03/2021.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF, 2005.

KITZBERGER, T., VEBLEN, T.T. & VILLALBA, R. 2000. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In Dendrocronología en América Latina (F.A. Roig, ed.). Ediunc, Mendoza, p.17-78, 2000.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; Química da Madeira. 4^a Edição Revisada. Curitiba, 85 p. 2013. (Apostila de aula teórica).

LENS, F.; ENDRESS, M. E.; BAAS, P.; JANSEN, S.; SMETS, E. Vessel grouping patterns in subfamilies Apocynoideae and Periplocoideae confirm phylogenetic value of wood structure within Apocynaceae. **American Journal of Botany**, v. 96, p. 2168–2183, 2009.

LIMA, I. D.; GARCIA, R., LONGUI, E. L.; FLORSHEIM, S. M. B. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p.61-68, 2011.

LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S.M.B.; Aguiar, O.T. Variação radial da densidade celulares de *Cupania vernalis camb.* da Serra da Cantareira/SP. In: **Anais** do XI Encontro Brasileiro em madeiras e Estruturas de madeiras – EBRAOMEM XI, Londrina. p. 1-9, 2008.

LIMA, M. F.; SILVA, K. S; SOUZA, M. J. C.; JÚNIOR, M. M. B.; MELO, L. E. L. Anatomia ecológica dos elementos de vaso da madeira de *Carapa guianensis* aulb. em duas fitofisionomias da amazônia. In: III Congresso internacional das ciências agrárias (COINTER), Recife-PE, 2018.

LIMA, R. N.; NEVES, J. A. S.; DE SOUZA OLIVEIRA, F.; CARDOSO, J. F.; SANTOS, I. S.; NOBRE, J. R. C. Avaliação das propriedades físicas de três espécies florestais amazônicas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1673-1678, 2020.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R. de; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA JÚNIOR, F.G.; CAMARGO NETO, L. de; BERMUDEZ, M.A.R.C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, v.39, p.469-477, 2011.

LOBÃO, M. S.; COSTA, D. P.; ALMONACID, M. A. A.; TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Acre, Brasil. **Floresta e ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

LONGUI, E. L.; LIMA, I. L.; SILVA, J. G; BUFOLO, A.; SUCKOW, I.M.S.; FLORSHEIM, S. M. B. Variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extractivos, lignina e holocelulose na madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr . **Instituto Florestal Série Registros**, v. 38, n. 87, p. 341-353, 2010.

LONGUI, E. L.; ROMEIRO, D.; SILVA, M. T.; RIBEIRO, A.; GOUVEIA, T. C.; LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B. Caracterização do lenho e variação radial de *Pittosporum undulatum* Vent.(pau-incenso). **Hoehnea**, v. 38, n. 1, p. 37-50, 2011.

LOUREIRO, A. A.; VASCONCELOS, F. J.; ALBUQUERQUE, B. P. Anatomia do lenho de 4 espécies de *Zanthoxylum Linnaeus* (Rutaceae) da Amazônia. **Acta amazônica**, v. 11, n. 04, p. 809-820, 1981.

MAGALHÃES, W. L. E.; BOLZON DE MUNIZ, G. I.; MAZZA, R. A. Tratamento mecânico visando o aumento da permeabilidade em madeira de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. Anais. Cuiabá: Ed. da UFMT, 2004.

MARTINS, C. S.; ABREU, J. J. C. **Caracterização física da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain.** 2019, 33f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade do Estado do Pará (UEPA), Paragominas, 2019.

MARTINS, C. S.; ABREU, J. J. C.; PEREIRA, D. T. O.; SANTOS, D. Q.; MELO, V. L. M.; NOBRE, J. R. C.; SOUSA, M. A. R.; FIGUEIREDO, M. F. Propriedades físicas de três espécies de madeiras comercializadas no sudeste do Pará. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da madeira. **Anais eletrônicos...**Florianópolis: III CBCTEM, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbctem?lang=pt-br>> Acesso em 08/03/2021.

MARTINS, C. S.; ABREU, J. J. C.; SOUSA, M. A. R.; PEREIRA, P. C. G.; SIVIERO, M. A.; RUSCHEL, A. R. Distribuição diamétrica e estrutura da população da espécie *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain no município de Dom Eliseu, Pará. **VII Simpósio de estudos e pesquisas em ciências ambientais na Amazônia**, v. 2, 2018.

MEDEIROS NETO, P. N. D.; OLIVEIRA, E. D.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas Espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014.

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliotti* Engelm.** Tese de Mestrado em Ciências Florestais, apresentado à Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1986.

MELLO, D. C. **Caracterização da madeira de quatro espécies nativas de ocorrência no Planalto serrano catarinense.** Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). UFSC, Curitibanos, 2018.

MELO, L. E. L.; SILVA, C. J.; URBINATI, C. V.; SANTOS, I. S.; SOARES, W. F. Variação anatômica no lenho de *Astronium lecointei* Ducke. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 135-142, 2013.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F.; LOPES, G. de A. **Anatomia e características físico-químicas da madeira de *Zanthoxylum tingoassuiba* St. Hil. de ocorrência na região de Lavras/MG.** UFLA, Lavras, 1999.

MIRANDA, M. C.; CASTELO, P. A. R.; MIRANDA, D. L. C.; RONDON, E. V. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 55-65, 2012.

MODES, K. S.; BORTOLETTO, J. G.; TOMAZELLO FILHO, M.; SANTOS, L. M. H., VIVIAN, M. A.; SILVA JÚNIOR, F. G. Caracterização morfológica e química da madeira de *Schizolobium amazonicum* aos 14 anos de plantios no estado de Rondônia. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 271-283, 2018.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 493-505, 2017.

MOREIRA, E. L.; FAZION, H.; RIBEIRO, E. S. Variação dos teores de extrativos de três espécies florestais. **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, 2016.

MORESCHI, J. C. Propriedades tecnológicas da madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, UFPR, 2010.

MOUTINHO, V. H. P. **Caracterização das madeiras conhecidas na Amazônia brasileira como matá-matá.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Brazil, p. 88, 2008.

NASSUR, O.A.C. **Variabilidade das propriedades tecnológicas da madeira de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade.** 2010. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

NEVES, A. G.; COSTA, A. A.; SANTOS, C. L.; SILVA, J. S.; ANDRADE, F. W. C. Variação dimensional de três espécies comerciais amazônicas. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da madeira. Belo Horizonte: II CBCTEM, 2015.

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

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUZA JUNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S; TOMAZELLO FILHO, M; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 929936, 2010.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; SILVA, José de Castro. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

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

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta amazônica**, v. 33, n. 2, p. 243-262, 2003.

PEREIRA, D. T. O. **Efeito da termorretificação sobre as propriedades químicas da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain (limãozinho)**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade do Estado do Pará (UEPA), Paragominas, 2019.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; ALMEIDA, J. P.; SANTOS, L.; PEREIRA M. R. R. Caracterização físico-química da madeira de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da madeira. **Anais eletrônicos**...Florianópolis: III CBCTEM, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbctem?lang=pt-br>> Acesso em 18/03/2021.

PIRANI, J.R. 2015. ***Zanthoxylum* in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1100>>. Acesso em: 31 de outubro de 2019.

POORTER, L.; McDONALD, I.; ALARCO, A.; FICHTLER, E.; LICONA, J.C.; PENACLAROS; M., STERCK; F.; VILLEGAS, Z.; SASS-KLAASSEN, U. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. **New Phytologist**, 2010.

REIS, A. R. S.; URBINATI, C. V.; BRAGA, P. L.; LISBOA, E. F. D. A.; FREITAS, A. D.; PARÁ, E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies do gênero *Erisma Rudge*, conhecidas como quarubarana, comercializadas no mercado madeireiro do Estado do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p.804-821, 2014.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, v.16, n.1, p. 43-55, 2004.

ROCHA, L. T. C.; PEREIRA, S. J.; GUIMARÃES, K. L. M.; VALPORTO, M. S.; VIEGAS, V. A. Madeiras tropicais à densidade e cor para uso em pavimentação. **Anais**. In: Congresso brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em design, v. 11, Gramado, 2014.

RUSCHEL, A. R.; BARBOSA, L. M.; VIEIRA, S. B.; SIVIERO, M. A.; SANTO, J. K. M. E; SANTOS, J. C. *Zanthoxylum ekmanii* espécie florestal promissora: estudo de caso em uma floresta explorada, no município de Dom Eliseu, Pará. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 67., 2015, São Carlos, SP. Resumos... São Paulo: SBPC, 2015.

RUY, O. F. Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* ST Blake da Ilha de Flores, Indonésia. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, 1998.

SEMAS (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e sustentabilidade). Beneficiamento e comércio de produtos de madeira por espécies. Período de 1-1-2014 até 31-12-2014, Belém - Pa, Brasil, p. 122, 2015.

SETTE JÚNIOR C. R.; OLIVEIRA I. R.; TOMAZELLO FILHO M.; YAMAJI F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190. 2012.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direções estruturais. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 14, n. 1, p. 113-126, 2006.

SIEGLOCH, A. M. **Anatomia do lenho de espécies de Euphorbiaceae nativas e cultivadas no Rio grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2014.

SILVA, J. D. C.; MATOS, J. L. M. D.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SILVA, M. G.; MORI, F. A.; FERREIRA, G. C.; RIBEIRO, A. O.; CARVALHO, A. G.; BARBOSA, A. C. M. C. Estudo anatômico e físico da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* proveniente de povoados nativos da Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 293-301, 2016.

SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2007.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Moisture content and basic wood density of nine commercial Amazonian tree species. **Acta Amazônica**. [online]. vol.43, n.2, pp.179-184, 2013.

SIPAM. Sistema de Proteção da Amazônia. **Zoneamento climático do Estado do Pará**. Centro Técnico e Operacional de Belém- Pará: SIPAM, 30f., 2009.

SMOGINSKI, A. P.; RUSCHEL, A. R.; GOUVEIA, D. M.; FILHO, E. R. V. P; MACHADO, H. B.; SILVA, W. F. M. Aspectos fitossociológicos de uma floresta antropizada no município Dom Elizeu, Pará. **64º Reunião Anual da SBPC**, PA, 2013.

SOUZA, E. S. C.; MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; FRANÇA, G. S. Propriedades químicas de madeiras nativas comerciais. **Multitemas**, p. 113-126, 2020.

SOUZA, L. V.; ANDRADE, G. M.; MATOS, T. S.; VIEIRA, A. L. M.; MELO, L. E. L. Chave de Identificação Macroscópica de Espécies da Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri. **I Seminário online: Tecnologia e Inovação de produtos florestais**, 2020.

STANGE, R.; FERREIRA, J. L.; MELLO, D. C.; TOMIO, G. F.; RODRIGUES, J. A; RIOS, P. A. Caracterização anatômica das espécies *Zanthoxylum rhoifolium* Lam e *Solanum mauritianum* Scop. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da madeira. **Anais eletrônicos**...Santarém: IV CBCTEM, 2019. Disponível em: <<https://www.cbctem.com.br/>> Acesso em 21/02/2020.

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, p. 4, 1993.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry, **TAPPI T222**: Acidinsoluble lignin in wood and pulp, Test Method. ATLANTA TAPPI PRESS, p. 5, 1993.

TOMAZELI, A. J.; DA SILVEIRA, A. G.; TREVISAN; R., WASTOWSKI, A. D.; CARDOSO, G. V. (2016). Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de aprodrecimento. **Tecno-lógica**, v. 20, n. 1, p. 20-25, 2016.

TREVIZOR, T. T. **Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical amazônica no estado do Pará**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

TRIANOSKI, R.; DE MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de cedro australiano cultivado em Corupá, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 435-441, 2014.

TRIANOSKI, R.; DE MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 398-406, 2013.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 97-111, 1996.

URBINATI, C. V.; AZEVEDO, A. A.; SILVA, E.A. M.; LISBOA, L.B. Wood structural quantitative variation of the *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. **Acta Botânica Brasilica**, v. 17, n. 3, p. 421-437, 2003.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.

VALENTE, B. M. D. R. T., Evangelista, W. V.; CASTRO S. J.; Della Lucia, R. M. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 485-496, dez. 2013.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho Juvenil e Adulto e as Propriedades da Madeira. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.4, p.469-480, 2011.

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. C.; SORANZO, D. R. Propriedades anatômicas e químicas da madeira juvenil de Paricá. **Revista Árvore**, v. 42, n. 3, 2018.

VIEIRA, H. C. **Anatomia Da Madeira De Espécies Arbóreas Da Floresta Ombrófila Mista.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 2017.

VIVIAN, M. A. Propriedades físico-mecânicas da madeira de canafístula aos 10 anos de idade. **Ciência Rural**, v. 40, n. 7, 2010.

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

CAPÍTULO II

PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS DA ESPÉCIE *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain

RESUMO

A demanda por produtos à base de madeira pela sociedade é crescente, pois proporcionam menor restrição de uso, apresentam alta resistência e confiabilidade de utilização. No entanto, devido ao desconhecimento tecnológico ainda é restrito o número de espécies amazônicas utilizadas dentro das indústrias madeireiras, por isso conhecer o potencial de uso dessas espécies é de suma importância para o desenvolvimento do setor florestal. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados composto com lâminas da espécie *Zanthoxylum ekmanii* (limãozinho) e sua combinação com *Pinus* sp., utilizando dois tipos de resina na colagem ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Foram produzidos painéis com 15 mm de espessura, nas dimensões 50 x 50 cm e com gramatura de 360 g/m² em linha simples. Os testes físicos e mecânicos foram realizados de acordo com as especificações descritas na norma brasileira. Os resultados foram comparados aos requisitos do catálogo técnico da ABIMCI e da norma NBR ISO 12466-2. Os painéis homogêneos e intercalados com *Z. ekmanii* avaliados neste estudo, apresentaram resultados de absorção de água, inchamento em espessura, recuperação em espessura, cisalhamento da linha de cola e de flexão estática paralela e perpendicular às fibras da capa estatisticamente iguais ou superiores em relação à espécie referencial de *Pinus* sp. Portanto, os painéis produzidos com *Z. ekmanii* apresentam boa qualidade na colagem com resinas UF e FF, e potencial na produção de painéis compensados, homogêneo, ou em combinação com *Pinus* sp.

Palavras-chave: Limãozinho. Compensado. Composição de lâminas. ureia-formaldeído. fenol-formaldeído.

ABSTRACT

The demand for wood-based products by society is growing, as they provide less restriction on use, are highly resistant, and are reliable in use. However, due to a lack of technological knowledge, the number of Amazonian species used within the timber industries is still limited, so knowing the potential use of these species is of paramount importance for the development of the forestry sector. In this context, the objective of this work was to evaluate the physical and mechanical properties of plywood panels composed with sheets of the species *Zanthoxylum ekmanii* (limãozinho) and its combination with *Pinus* sp., Using two types of resin in the urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde. Panels were produced with 15 mm thickness, dimensions 50 x 50 cm, and with a grammage of 360 g/m² in a single line. Physical and mechanical tests were performed by the specifications described in the Brazilian standard. The results were compared to the requirements of the ABIMCI technical catalog and the NBR ISO 12466-2 standard. The homogeneous and intercalated panels with *Z. ekmanii* evaluated in this study presented results of water absorption, thickness swelling, thickness recovery, glue line shear, and static bending parallel and perpendicular to the layer fibers statistically equal to or superior to the reference species of *Pinus* sp. Therefore, the panels produced with *Z. ekmanii* have good quality in bonding with UF and FF resins, and potential for the production of plywood, homogeneous, or in combination with *Pinus* sp.

Keywords: Lemon. Cleared. veneers composition. urea-formaldehyde. phenol-formaldehyde.

1. INTRODUÇÃO

A produção de painéis de madeira é de suma importância para a economia brasileira, principalmente no desenvolvimento de novos produtos com maior aproveitamento em relação a madeira sólida, associado ao aumento da demanda por esse tipo de produto e geração de empregos nos setores moveleiro e da construção civil.

No decorrer dos anos, a indústria de painéis aumentou gradativamente a sua produção em decorrência da escassez e encarecimento da madeira serrada, e sobretudo da melhor qualidade dos painéis (VIDOTTO, 2017).

Dentre os painéis de madeira produzidos no Brasil, tem-se os de lâminas de compensado, cujo volume produzido em 2020 foi de 2,7 milhões de m³, sendo que desse total, 40% são produzidos com madeira tropical, e os outros 60%, com madeira de reflorestamento das regiões Sul e Sudeste, principalmente pinus (FAO, 2020). Vale destacar que o Brasil ocupa a 7º posição no ranking dos maiores produtores de painéis compensado, sendo considerado de grande importância para a economia brasileira, superando 700 milhões de dólares anuais, com principal destino para o continente europeu (SNIF, 2020).

O compensado é um painel feito de lâminas de madeira coladas entre si, geralmente em número ímpar (3, 5, 7 ou 9 camadas), coladas uma em cima da outra, com as fibras de cada lâmina orientadas perpendicularmente em relação a adjacente, com resinas fenólicas (uso externo) ou ureia-formaldeído (uso interno). Vale mencionar, que a designação do uso final do compensado é em função da espécie, da qualidade das lâminas, dos procedimentos e do tipo de adesivo utilizado, sendo que o conjunto desses fatores reflete diretamente nas propriedades físicas e mecânicas desse produto (SCHULTZ, 2008).

De maneira geral, a utilização de painéis compensado pelas indústrias, está relacionado a sua excelente estabilidade dimensional, maior valor agregado, e otimização do uso dessa matéria-prima, devido a eliminação de fatores redutores da resistência da madeira, painéis com maiores dimensões, além da possibilidade de mesclar diferentes espécies de madeira em um mesmo painel resultando em flexibilidade da produção, de selecionar e utilizar lâminas com nós e até mesmo rachaduras no miolo e lâminas de maior qualidade na capa, proporcionando assim uma redução no custo e, consequentemente, no preço do produto final (MACEDO; ROQUE, 1997; BAUER, 2008; COSTA et al., 2020).

Nesse cenário, com aumento da demanda por produtos madeireiros com melhor qualidade, observa-se a importância do uso de novas espécies e de como estas se comportam

com o uso de diferentes resinas, na busca de ampliar o uso dos painéis compensados tanto em ambiente externo, quanto interno pela sociedade em geral.

Para Lima (2011) com o aumento da demanda de madeira crescendo a cada dia, inúmeras espécies amazônicas estão sendo estudadas quanto suas características para suprir esta procura, pois existem várias espécies pouco conhecidas e com propriedades similares àquelas já tradicionais e de grande aceitação no mercado madeireiro. Assim, diante deste cenário o estudo da espécie *Zanthoxylum ekmanii* (Urb.) Alain, conhecida vulgarmente como limãozinho, é essencial para conhecer o seu potencial na produção desse tipo de painel.

Portanto, o estudo das propriedades físicas e mecânicas do painel compensado se faz necessário para aperfeiçoar o conhecimento em relação ao seu potencial de uso, pois as diferenças entre as propriedades da madeira estão presentes tanto intra e interespecificamente na árvore (CORREA et al., 2020).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados produzidos com lâminas da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* e sua combinação com *Pinus* sp., utilizando dois tipos de resina na colagem, ureia-formaldeído e fenol-formaldeído.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados com lâminas da madeira de *Zanthoxylum ekmanii* (URB.) Alain e sua combinação com *Pinus* sp., utilizando as resinas ureia-formaldeído e fenol-formaldeído.

2.2 ESPECÍFICOS

- Produzir painéis compensados com as espécies *Zanthoxylum ekmanii* e *Pinus* sp., homogêneas e combinadas;
- Utilizar dois tipos de resina na colagem: ureia-formaldeído e fenol-formaldeído;
- Avaliar o desempenho dos painéis por meio dos testes físicos e mecânicos.

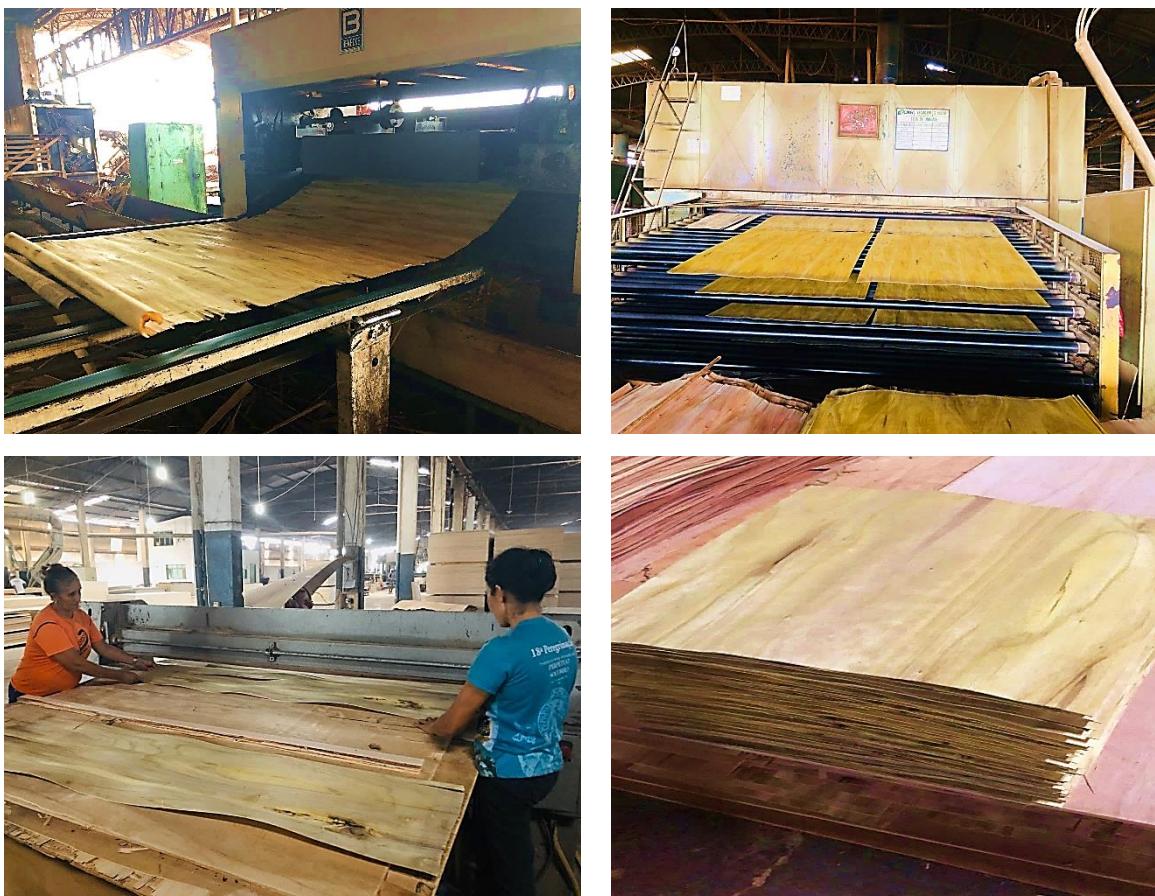
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Nesta pesquisa, foram utilizadas lâminas de *Zanthoxylum ekmanii* (1,5 mm) e *Pinus* sp. (2,1 e 2,7 mm), as quais foram obtidas pelo processo de desenrolamento da tora em torno

desfolhador, nas indústrias laminadoras localizadas no município de Itinga (Pará) e Lages (Santa Catarina), respectivamente. A secagem inicial das lâminas foi realizada em um secador industrial de 8 câmaras, durante 12 minutos, e posteriormente transportadas até o local de estudo (Figura 16). Para a colagem das lâminas, foram utilizadas as resinas ureia-formaldeído (UF – uso interno) e fenol-formaldeído (FF – uso externo).

Figura 16. Laminação, secagem e preparo das lâminas de *Z. ekmanii* na empresa ParaFlorest, no Itinga-PA.



Fonte: Benmuyal (2020).

Para a realização do experimento, inicialmente as lâminas foram seccionadas com dimensões de 50 x 50 cm e secas em estufa com circulação forçada de ar até o teor de umidade final médio de 12% (capa) e 8% (miolo).

Os painéis compensados foram produzidos em escala laboratorial, conforme o plano experimental apresentado no Quadro 3.

Quadro 3. Plano experimental utilizado para produção dos painéis compensados.

| Tratamento | Resina | Composição do Painel | Espessura lâminas |
|------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| T1 | ureia-formaldeído | <i>Pinus</i> sp. (Pi) | Zek = 1,5 mm |
| T2 | | <i>Z. ekmanii</i> (Zek) | + |
| T3 | | Zek + Pi +Pi + Pi + Zek | Pi = 2,7 mm |
| T4 | | Pi + Zek + Zek + Zek + Pi | |
| T1 | fenol-formaldeído | <i>Pinus</i> sp. (Pi) | Zek = 1,5 mm |
| T2 | | <i>Z. ekmanii</i> (Zek) | + |
| T3 | | Zek + Pi +Pi + Pi + Zek | Pi = 2,1 mm |
| T4 | | Pi + Zek + Zek + Zek + Pi | |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Nos tratamentos 1 e 2, os painéis foram compostos com todas as lâminas da mesma espécie. Já nos tratamentos 3 e 4, os painéis foram montados intercalando-se as lâminas (Capa ou miolo) da espécie *Z. ekmanii* com *Pinus* sp. Para cada tratamento realizou-se 3 repetições com espessura de 15 mm, totalizando 24 painéis compensados, nos quais foram utilizadas as resinas ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, de acordo com as formulações apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Formulações da resina utilizada na produção dos compensados.

| Formulação | Resina | Trigo | Água | Catalisador |
|-------------------|--------|-------|------|-------------|
| ureia-formaldeído | 100 | 20 | 20 | 1,7 |
| fenol-formaldeído | 100 | 15 | 15 | - |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS

O controle de qualidade das resinas ureia-formaldeído e fenol-formaldeído foram determinados de acordo com os seguintes procedimentos:

3.2.1 Viscosidade

A viscosidade foi determinada utilizando-se um viscosímetro do tipo copo ford n° 4 (Figura 17 - A), onde o mesmo foi preenchido com resina até a borda, retirando-se o excesso com bastão de vidro. Posteriormente o escoamento da resina foi cronometrado, sendo que o valor da viscosidade foi obtido por meio da fórmula abaixo:

$$V: (3,82 \cdot t - 17,28) \cdot d$$

Onde:

V: viscosidade dinâmica (cP);

t: tempo de escoamento, em segundos;

d: densidade da resina (g/cm³)

3.2.2 Gel-time

Na determinação do tempo de gel, foi utilizado amostras com 5 g de resina, as quais foram colocadas em tubos de ensaio. Em seguida o tubo foi mergulhado, em um Becker com glicerina (500 ml), à temperatura de 130°C, sendo que com o auxílio de um bastão o mesmo foi mantido em constante agitação até atingir a “fase de gel”. O tempo de gelatinização foi cronometrado desde a imersão do tubo na glicerina, até o momento em que a amostra endureceu (Figura 17 - B).

3.2.3 Teor de sólidos

Para a determinação do teor de sólidos, foi realizada a pesagem de 2 g de resina (4 repetições) em uma placa de petri com peso conhecido. Em seguida as amostras foram colocadas para secar na estufa à temperatura de 103 ± 3°C, por 24 horas e posteriormente foram pesadas para obtenção do peso seco. O percentual do teor de sólidos foi calculado por meio da seguinte fórmula:

$$TS: \frac{PS}{PI} * 100$$

Onde:

TS: teor de sólidos (%);

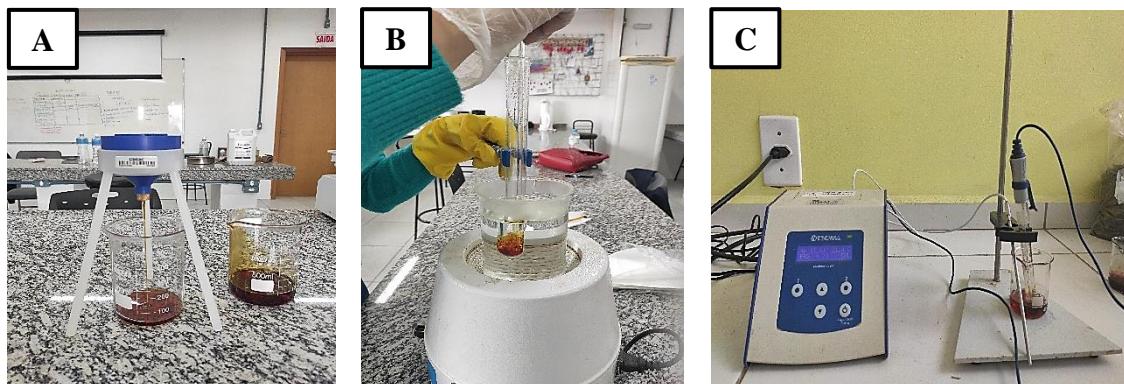
PS: peso seco (g);

PI: peso inicial (g).

3.2.4 pH

O pH foi determinado com a utilização de um peágâmetro digital (Figura 17 - C), à temperatura ambiente e calibrado em solução tampão 4,0 e 7,0. O valor do pH foi registrado após aproximadamente 6 minutos de contato do eletrodo com a resina.

Figura 17. Procedimentos realizados durante a caracterização das resinas ureia e fenol formaldeído: (A) Copo ford n° 4 utilizado no teste de viscosidade; (B) Determinação do Gel-time; (C) Peagâmetro digital.

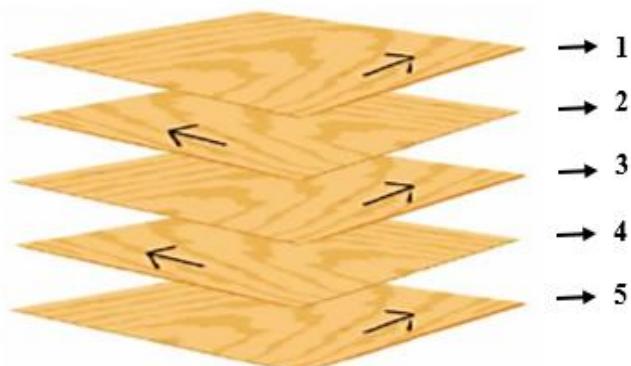


Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.3 CONFECÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS

A resina foi aplicada de forma manual com pincel sobre a superfície das lâminas, de acordo com a gramatura estabelecida de 360 g/m², em linha simples. O processo de colagem das lâminas (Figura 18) ocorreu da seguinte forma: as lâminas do miolo (2, 3 e 4) e a contracapa (5) receberam a passagem de cola em uma única face, e a colagem entre as tais ocorreu por transferência, ou seja, a lâmina da capa (1) recebeu a resina da lâmina do miolo (2), e assim de forma sucessiva recebeu da (3), que recebeu da (4), que por sua vez recebeu resina da contracapa (5). A quantidade de lâminas utilizada durante este processo, determinou a espessura final do painel. Vale mencionar, que em virtude das características anatômicas da espécie *Z. ekmanii*, foi necessário um tempo de assemblagem de aproximadamente 6 horas, antes da prensagem à quente.

Figura 18. Esquema da passagem da cola em painéis compensados: lâminas 1 e 5 são a capa e contracapa e as lâminas 2, 3 e 4 compõe o miolo.



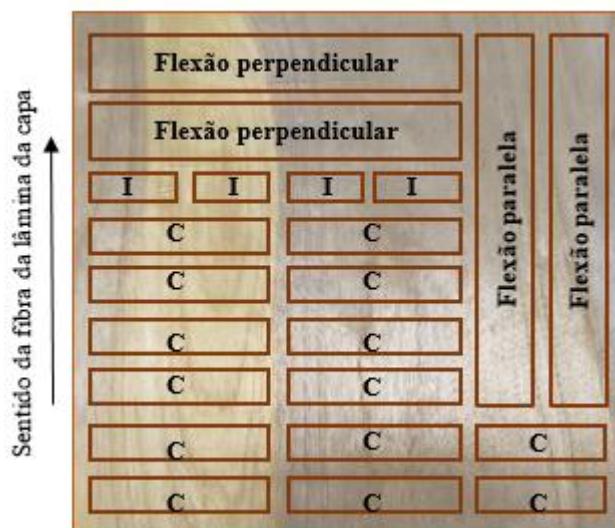
Fonte: Adaptado de Costa et al., (2020).

Os parâmetros utilizados no ciclo de prensagem foram: temperatura de 110°C, pressão específica de 12 kgf/cm² e tempo de prensagem de 15 minutos para colagem com resina ureia-formaldeído, e temperatura de 140°C, pressão específica de 12 kgf/cm² e tempo de prensagem de 15 minutos para colagem com resina fenol-formaldeído. Após a prensagem os painéis, foram acondicionados em câmara climática com temperatura de 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 3%, até atingirem massa constante e umidade de equilíbrio de 12%.

3.4 ESQUADREJAMENTO DOS PAINÉIS E OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após o acondicionamento, a superfície dos painéis foi demarcada com a finalidade de facilitar o esquadrejamento dos mesmos (Figura 19). Posteriormente, em uma serra circular, foram retirados os corpos de prova para a realização dos ensaios físicos e mecânicos. Para a realização dos testes físicos de umidade, massa específica e absorção em água, foi utilizado os corpos de prova de flexão estática. Nos ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal de ensaios (EMIC DL-300 kN).

Figura 19. Esquema de retirada dos corpos-provas no painel compensado.



Em que: I: Inchamento e C: Cisalhamento.

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Foram retirados corpos de prova para a realização dos seguintes ensaios em laboratório, conforme Quadro 4.

Quadro 4. Compensados de *Z. ekmanii* e *pinus* sp. - Ensaios, Propriedades e Normas.

| Ensaios | Normas |
|--|-----------------|
| Teor de umidade | NBR 9484: 2011a |
| Massa específica aparente | NBR 9485: 2011b |
| Absorção de água | NBR 9486:2011c |
| Inchamento e recuperação em espessura | NBR 9535: 2011d |
| Flexão estática paralela e perpendicular | NBR 9533:2012e |
| Cisalhamento na linha de cola | NBR 12466:2012 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Para avaliação dos resultados da resistência da linha de cola dos painéis compensados, levou-se em consideração as especificações da norma NBR 12466 (2012), apresentadas no Quadro 5.

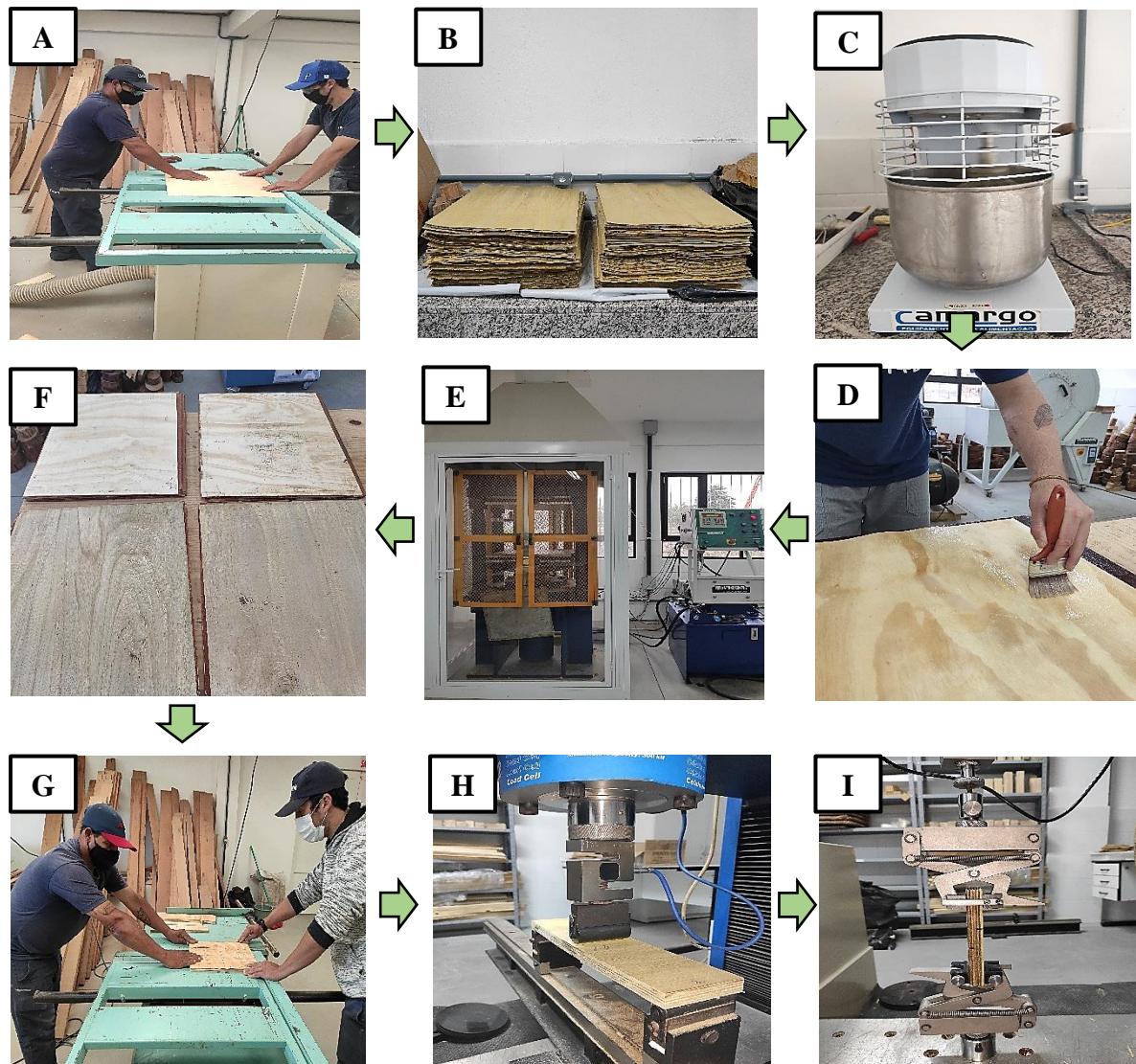
Quadro 5. Resistência da linha de cola ao esforço do cisalhamento e porcentagem de falha na madeira.

| Tensão de ruptura (MPa) | Ruptura ou falha na madeira (%) |
|-------------------------|---------------------------------|
| $0,2 \leq TR < 0,4$ | ≥ 80 |
| $0,4 \leq TR < 0,6$ | ≥ 60 |
| $0,6 \leq TR < 1$ | ≥ 40 |
| $1 \geq TR$ | Sem exigência |

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Na figura 20, são apresentados os procedimentos realizados durante a produção dos painéis compensados.

Figura 20. Esquema dos procedimentos realizados na produção e testes mecânicos dos painéis compensados: (A) Corte das lâminas em serra circular; (B) lâminas com as dimensões padronizadas; (C) Batedeira utilizada durante a mistura da batida de cola; (D) Passagem de cola na superfície das lâminas; (E) Prensa utilizada durante a prensagem à quente dos painéis; (F) Painéis após prensagem à quente; (G) Esquadrejamento dos painéis em serra circular; (H) Ensaio de flexão estática paralela e perpendicular; (I) Ensaio de cisalhamento na linha de cola.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificar a distribuição normal dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro Wilk, e para avaliar a homogeneidade da variância, utilizou-se o teste de Bartlett. Após atendido estes pressupostos para o conjunto de dados, foi realizada a análise estatística e teste de Scott-knott ao nível de probabilidade de 95%, por meio do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Todos os testes foram realizados, utilizando o software Sisvar 5.3 Build 77 desenvolvido por Ferreira (2011) e o programa Microsoft Excel®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS

Os valores médios das características de colagem da resina ureia-formaldeído e fenol-formaldeído são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Médias dos valores das características de viscosidade, gel time, teor de sólidos e pH, das resinas.

| Tratamento | V (cP) | Gel-time (s) | Teor de sólidos (%) | pH |
|------------|--------|--------------|---------------------|-------|
| UF | 444,75 | 412,75 | 67,34 | 8,23 |
| FF | 477,20 | 393,20 | 51,31 | 11,00 |

V: Viscosidade; cP: centipoise; UF: Ureia-formaldeído; FF: Fenol-formaldeído.

Os valores para a viscosidade situam-se na faixa de 400-1000 cP e 300-600 cP, respectivamente para as resinas ureia e fenol formaldeído, sendo assim, os valores encontrados, estão de acordo com os estabelecidos na literatura por Mendoza et al., 2017.

Para o teor de sólidos, o Programa Nacional da Qualidade da Madeira (PNQM, 2009), estabelece um percentual entre 40% a 70%, assim, o valor deste estudo está dentro do recomendado.

Já o gel time está relacionado a reatividade da resina, ou seja, quanto menor o tempo de gel mais rápida é a cura e o tempo de aplicação diminui e vice-versa. Albuquerque et al., (2005) e Kinap (2014) relatam que o teste “gel time” é de extrema importância para a qualidade da resina pois está relacionado a sua vida útil, que é quando se atinge o ponto de máxima viscosidade admissível para sua aplicação, influenciando assim na sua reatividade, que, por sua vez influenciará no tempo de prensagem.

O pH é um fator muito importante durante o processo de colagem, uma vez que pode interferir no processo de endurecimento da resina durante a prensagem. Segundo Iwakiri (2005) a resina deve manter o pH na faixa de 2,5 a 11, pois valores de pH acima deste limite podem ocasionar a degradação das fibras de madeira, e um pH inferior pode provocar uma formação excessiva de espuma durante a batida da cola, prejudicando a qualidade da colagem.

Em geral, a resina tem que apresentar fluidez, transferir e penetrar na madeira, curar e resistir às tensões durante a utilização do produto mediante carregamentos e condições de meio ambiente (FRIHART; HUNT, 2010).

4.2 PAINÉIS COLADOS COM RESINA UREIA-FORMALDEÍDO

4.2.1 Avaliação das Propriedades físicas dos painéis

Os valores médios referentes ao teor de umidade, massa específica aparente, absorção de água, inchamento e recuperação em espessura dos painéis para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Propriedades físicas dos painéis compensados produzidos com diferentes composições.

| Tratamento | TU % | MEA (g/cm ³) | AA24h % | IE24h (%) | RE24h (%) |
|------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| T1-Pi | 11,30 b* | 0,63 a (3,56) | 58,52 a (16,36) | 5,63 a (12,09) | 9,30 a (4,05) |
| T2-Zek | 12,28 a (3,28) | 0,54 c (3,79) | 25,59 c (8,17) | 3,43 b (17,17) | 8,79 a (3,68) |
| T3-Zek+Pi | 11,36 b (4,13) | 0,59 b (5,89) | 56,74 a (10,72) | 5,10 a (18,58) | 8,20 a (19,53) |
| T4-Pi+Zek | 12,10 a (4,93) | 0,54 c (5,56) | 41,61 b (6,57) | 3,76 b (16,35) | 7,96 a (10,76) |

Pi: *Pinus* sp.; **Zek:** *Zanthoxylum ekmanii*; **TU:** Teor de umidade; **MEA:** Massa específica aparente; **AA24h:** absorção de água; **IE24h:** Inchamento em espessura; **RE24h:** Recuperação em espessura. *: Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação (%).

Observa-se que os valores de teor de umidade, ficaram próximos ao esperado, tendo em vista, que os tratamentos foram mantidos em câmera climatizada à umidade de 12%. O catálogo técnico do PNQM (2009) determina que o valor máximo de teor de umidade dos painéis seja de 18%, logo, os resultados estão de acordo com o requisito exigido.

Os resultados obtidos para massa específica aparente indicam, que houve efeito significativo entre os tratamentos, em que os painéis produzidos com todas as lâminas e miolo de *Pinus* sp. (T1 e T3), apesar de diferentes entre si, apresentaram valor médio desta propriedade estatisticamente superior aos painéis produzidos somente com as lâminas e miolo de *Z. ekmanii* (T2 e T4). Isso possivelmente ocorreu devido as características das espécies, assim como as condições de manufatura dos painéis, como umidade, temperatura e pressão. Kazmierczak et al. (2017) relatam que a pressão de prensagem ocasiona a redução de espessura das lâminas individuais ou do próprio painel que elas compõem, bem como o aumento da massa específica do compensado em relação à da madeira que lhe originou.

Para absorção de água (24h), também houve diferença significativa entre os painéis produzidos, sendo que os menores valores médios foram obtidos para o tratamento homogêneo e combinados de *Z. ekmanii* e o que mais absorveu foi o tratamento puro com *Pinus* sp. Tal comportamento pode ser explicado pela característica anatômica da espécie *Z. ekmanii*, que apresenta menores dimensões e pouca frequência de vasos. Iwakiri (2005) e Silva et al. (2020)

destacam em seus estudos que a anatomia da madeira está diretamente relacionada as dimensões, disposição e frequência das cavidades celulares, inferindo na porosidade, permeabilidade da madeira e consequentemente na penetração das resinas durante a produção dos painéis.

Conforme observado na Absorção em Água (24h), os painéis compensados produzidos e intercalados com a espécie *Z. ekmanii* apresentaram os menores valores de IE e RE, porém, houve diferença significativa entre os tratamentos, apenas em inchamento em espessura.

Almeida (2009), trabalhando com painéis compensados de *Pinus* sp. e paricá, colados com resina UF, encontrou valores médios de 10,67% (*Pinus* sp.) a 4,10% (paricá) de inchamento em espessura, e de 2,78% (*Pinus* sp.) a 3,01% (paricá) para recuperação em espessura. Valores próximos, com exceção para recuperação em espessura em que os mesmos foram inferiores ao deste estudo. O inchamento em espessura de um painel compensado é resultado da absorção de água e da liberação das tensões de prensagens, sendo que o mesmo é afetado pelo tipo, temperatura e tempo de prensagem, proporção e formulação do adesivo utilizado (CABRAL, 2011).

4.2.2 Avaliação das Propriedades mecânicas dos painéis

4.2.2.1 Flexão estática paralela e perpendicular

Os valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura paralela e perpendicular às fibras da capa nos ensaios de flexão estática, para os painéis compensados de cada tratamento, estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática dos painéis compensados produzidos com diferentes composições.

| Tratamento | MOE (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) | MOR (MPa) |
|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| | Paralela | | Perpendicular | |
| T1-Pi | 10818,87 a* | 75,11 a (26,65) | 5725,70 b (19,27) | 42,63 a (16,71) |
| T2-Zek | 12640,42 a (9,63) | 74,39 a (4,25) | 8530,86 a (6,45) | 54,81 a (11,90) |
| T3-Zek+Pi | 12839,71 a (8,93) | 70,79 a (20,40) | 9263,81 a (10,88) | 57,96 a (33,86) |
| T4-Pi+Zek | 12173,60 a (13,94) | 72,07 a (23,87) | 5535,32 b (6,55) | 40,41 a (16,46) |

Pi: *Pinus* sp.; **Zek:** *Zanthoxylum ekmanii*; **MOE:** Módulo de elasticidade; **MOR:** Módulo de ruptura. *: Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância. ¹: Valor entre parênteses é o coeficiente de variação (%).

Os valores médios de MOE e MOR paralelo às fibras variaram de 10818,87 a 12839,71 MPa (T1 e T3) e de 70,79 a 75,11 MPa (T3 e T1), respectivamente.

Nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos homogêneos e intercalados com as espécies. Entretanto, as maiores médias em termos absolutos, de MOE paralelo foi apresentada pelos painéis puros e com a inclusão de *Z. ekmanii* em sua composição. Para o MOR, tais valores foram menores em relação ao painel de *Pinus* sp., porém, o painel homogêneo de *Z. ekmanii* apresentou valores superiores em relação aos painéis com *Pinus* sp. em sua composição. Tais resultados foram superiores em comparação aos obtidos por Matos et al. (2019) para painéis de *Pinus oocarpa* (Po) e *Schizolobium amazonicum* (Sa) com diferentes composições. Os autores encontraram valores médios de 2154 MPa (100% Sa); 3610 MPa (miolo Sa); 3635 MPa (capa Sa) e 4907 MPa (100% Po) para MOE paralelo, e valores médios de 22,48 MPa (100% Sa); 28,95 MPa (capa Sa); 33,43 MPa (miolo Sa) e 40,28 MPa (100% Po) para MOR paralelo.

Os valores médios de MOE e MOR perpendicular às fibras da capa variaram de 5535,32 a 9263,81 MPa (T4 e T1) e de 40,41 a 57,96 MPa (T4 e T3), respectivamente.

Com base nos resultados de MOE e MOR perpendicular, verifica-se que houve diferença significativa, apenas para o MOE perpendicular. Observa-se que os valores dos painéis homogêneos e com a capa de *Z. ekmanii* para MOE perpendicular, mostraram-se significativamente superiores aos outros tratamentos (T1 e T4). Os maiores valores, apesar de não haver diferença estatística, também podem ser verificados para o MOR perpendicular para as mesmas composições. Os resultados deste estudo foram satisfatórios quando comparados com os valores apresentados na literatura. Iwakiri et al. (2012) ao avaliarem as propriedades mecânicas de compensados ureicos e gramatura de 360 g/m², encontraram valores de 2769,17 MPa (MOE perpendicular) e 34,97 MPa (MOR paralelo), e de 3474,22 MPa (MOE perpendicular) e 42,17 MPa (MOR perpendicular), para as espécies de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., respectivamente.

Em geral, as variações nos valores podem ser decorrentes das espécies de madeira empregadas, da gramatura do adesivo e das características dos compensados, como espessura e número de lâminas.

Além disso, em comparação com o catálogo técnico da ABIMCI (2007), verificou-se que os valores médios obtidos com os painéis produzidos com *Z. ekmanni* e *Pinus* sp., atendem os requisitos mínimos de MOE e MOR, nos dois sentidos de ensaios, estabelecidos para painéis comerciais de pinus brasileiro com 15 mm de espessura, cujos valores médios variam na faixa de 6774,74 MPa e 38,71 MPa, para MOE e MOR paralelo, respectivamente, e 3305,442 MPa e 28,91 MPa, para MOE e MOR perpendicular, nessa ordem.

Vale mencionar ainda que, os resultados obtidos para espécie deste estudo, mesmo com a colagem ureica, apresentou valores superiores aos mencionados, inferindo em um produto de satisfatória resistência.

4.2.2.2 Resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento

Os valores médios de resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento para o teste úmido dos painéis, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento.

| Tratamento | RLC teste úmido (MPa) |
|------------|-----------------------|
| T1-Pi | 3,04 (30,93) b |
| T2-Zek | 4,28 (18,45) a |
| T3-Zek+Pi | 3,36 (22,42) b |
| T4-Pi+Zek | 2,14 (20,96) c |

Pi: *Pinus sp.*; **Zek:** *Zanthoxylum ekmanii*; **RLC:** Resistencia da linha de cola. *: Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação (%).

Os valores médios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento variaram de 2,14 MPa (T4) a 4,28 MPa (T2). Os resultados indicam para o teste úmido, que o painel homogêneo de *Z. ekmanii* apresentou valores médios de resistência na linha de cola estatisticamente superior as demais composições. Entretanto, todos os valores estão acima do mínimo permitido de 1 MPa, que descarta as exigências de falha na madeira exigidos pela norma NBR ISO 12466-2 (2012).

De acordo com Iwakiri (2005) o desempenho da linha de cola, é influenciado pela composição da resina, bem como as características, anatômicas, químicas e físicas da madeira para as duas faces da lâmina.

A partir de dados encontrados na literatura, verifica-se que todos os valores médios deste estudo, foram superiores ao encontrados por Iwakiri et al. (2012) em painéis compensados de algumas espécies de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., cujos valores de resistência na linha de cola variaram na faixa de 0,85 a 1,59 MPa e 1,25 a 2,39 MPa, respectivamente. Em uma outra pesquisa, Cunha et al. (2016) e Carvalho et al. (2016) encontraram para painéis compensados ureicos de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, valores médios de RLC de 0,93 e 2,34 MPa, nessa ordem.

Em geral, os resultados refletem as propriedades satisfatórias de resistência na linha de cola dos painéis de *Z. ekmanii*, colados com UF, mesmo no estado úmido, indicando que as composições avaliadas podem ser destinadas ao uso interior e intermediário, considerando as condições de manufatura empregadas neste estudo.

4.3 PAINÉIS COLADOS COM RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

4.3.1 Avaliação das Propriedades físicas dos painéis

Os valores médios referentes ao teor de umidade, massa específica aparente, absorção de água, inchamento e recuperação em espessura dos painéis para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Propriedades físicas dos painéis compensados produzidos com diferentes composições.

| Tratamento | TU % | MEA (g/cm ³) | AA24h % | IE24h (%) | RE24h (%) |
|------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| T1-Pi | 11,08 a* | 0,52 b (6,34) | 77,52 a (7,99) | 5,84 a (8,48) | 8,52 a (8,87) |
| T2-Zek | 11,22 a (5,54) | 0,54 a (4,54) | 45,43 c (13,14) | 4,84 b (23,57) | 7,95 a (14,84) |
| T3-Zek+Pi | 11,10 a (6,21) | 0,55 a (5,44) | 54,64 b (12,44) | 6,06 a (13,35) | 9,35 a (20,76) |
| T4-Pi+Zek | 11,18 a (5,81) | 0,51 b (4,94) | 53,90 b (4,19) | 3,83 b (14,05) | 7,38 a (10,38) |

Pi: *Pinus sp.*; **Zek:** *Zanthoxylum ekmanii*; **TU:** Teor de umidade; **MEA:** Massa específica aparente; **AA24h:** absorção de água; **IE24h:** Inchamento em espessura; **RE24h:** Recuperação em espessura. *: Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação (%).

Nota-se que não houve efeito significativo entre os tratamentos para o teor de umidade, que apresentou um valor médio de 11,14%. Esse resultado indica que o período de climatização dos painéis antes dos ensaios foi adequado, assim como também se encontram de acordo com o requisito máximo exigido, que é de 18% (ABIMCI, 2009).

Confrontados os resultados obtidos para massa específica aparente, verifica-se que houve diferenças significativas entre as composições, em que os painéis compensados homogêneo e com capa de *Z. ekmanii* (T2 e T3), apresentaram-se estatisticamente superiores aos painéis homogêneos e com capa de *Pinus sp.*. Os valores médios de massa específica aparente de todas as composições, estão dentro do intervalo estabelecido pela ABIMCI (2007) para painéis comerciais de *Pinus sp.* e do tipo exterior com 15 mm de espessura, que estão compreendidos entre 0,51 a 0,59 g/cm³.

Em geral, a massa específica aparente é uma propriedade que pode influenciar diretamente nas características físicas e mecânicas de um painel, assim como na qualidade de linha de cola nas diferentes camadas do mesmo, pois interfere no processo de penetração e de ancoragem do adesivo (SILVA, 2017).

Na absorção de água (24h), também ocorreu diferença significativa entre os painéis produzidos com FF, sendo que os menores valores médios foram obtidos para as composições com *Z. ekmanii*, tanto em condição homogênea quanto combinada, e a que mais absorveu foi a composição pura com *Pinus sp.*. Os valores encontrados nessa pesquisa são inferiores aos

obtidos por Machado et al. (2018) que obtiveram os seguintes valores médios, para os painéis homogêneos e combinados de: paricá (86,29%), embaúba (71,53%), paricá/embaúba (78,31%), embaúba/paricá (69,02%) e *Pinus* sp. (66,45%), sendo que para este último, o valor foi inferior ao deste estudo. Em relação ao estudo realizado por Albino et al. (2011) que produziram compensados a partir de *Toona ciliata* e combinações com *Pinus* sp., foi encontrado também valores superiores, com variação de 56,67 a 84,67%.

Observa-se que para o IE24h utilizando-se a resina FF, os menores valores para o inchamento foram obtidos para os painéis homogêneos e com miolo de *Z. ekmanii*. Já para a RE24h, não houve diferença significativa entre as diferentes composições dos painéis. Iwakiri et al. (2001), trabalhando com painéis compensados produzidos com cinco espécies de pinus tropicais, colados com resina FF, encontraram valores médios de 4,85% a 7,75% e 0,79% a 2,17%, para IE e RE, respectivamente. Já Machado et al. (2018) encontraram para painéis homogêneos e combinados das espécies amazônicas paricá e embaúba, valores médios de 5,44% a 6,48% para IE e 0,55% a 1,21% para RE. Resultados próximos ao deste estudo, exceto para RE que foi inferior.

De maneira geral, pode-se inferir que os painéis homogêneos e intercalados com a espécie *Z. ekmanii*, foram mais resistentes para essas propriedades em relação ao painel homogêneo de *Pinus* sp., logo, teriam melhor desempenho para uso exterior.

4.3.2 Avaliação das Propriedades mecânicas dos painéis

4.3.2.1 Flexão estática paralela e perpendicular

Os valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura paralela e perpendicular nos ensaios de flexão estática, para os painéis compensados de cada tratamento, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática dos painéis compensados produzidos com diferentes composições.

| Tratamento | MOE (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) | MOR (MPa) |
|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| | Paralela | | Perpendicular | |
| T1-Pi | 9066,60 b* | 54,65 a (10,62) | 4950,54 c (13,37) | 34,71 b (30,13) |
| T2-Zek | 12110,43 a (28,32) | 76,80 a (25,37) | 4732,66 c (10,16) | 31,53 b (9,34) |
| T3-Zek+Pi | 12127,68 a (11,28) | 67,86 a (19,06) | 7959,64 a (17,03) | 51,09 a (7,32) |
| T4-Pi+Zek | 9152,93 b (5,38) | 60,71 a (5,16) | 6311,95 b (6,94) | 49,72 a (2,11) |

Pi: *Pinus* sp.; **Zek:** *Zanthoxylum ekmanii*; **MOE:** Módulo de elasticidade; **MOR:** Módulo de ruptura. ^{*}: Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância. ¹: Valor entre parênteses é o coeficiente de variação (%).

Os valores médios de MOE e MOR paralelo às fibras da capa variaram de 9066,69 a 12127,68 MPa (T1 e T3) e de 54,65 a 76,80 MPa (T1 e T2), respectivamente.

Os resultados indicam que houve diferença significativa, apenas para o MOE paralelo. Nota-se que os valores médios dos painéis homogêneos e com a capa (T2 e T3) de *Z. ekmanii* para o MOE paralelo, apresentaram-se significativamente superior as demais composições (T1 e T4). Para o MOR paralelo, não foram constatadas diferenças, porém, os maiores valores em termos absolutos, também foram obtidos para os tratamentos T2 e T3.

Machado et al. (2018) trabalhando com painéis homogêneos e mistos de *Pinus elliottii* (Pi), paricá (P) e embaúba (E), encontraram valores médios de 3784,50 MPa (Pi), 4915,17 MPa (P), 5585,33 MPa (P/E), 6351,83 MPa (E/P) e 7186,50 MPa (E) para MOE paralelo, e de 34,82 MPa (P/E); 34,93 MPa (P); 39,50 MPa (Pi) e 42,53 MPa (E/P) e 47,52 MPa (E) para MOR paralelo. Já Lima e Pio (2007) obtiveram para duas espécies amazônicas, coladas com FF, valores médios de 10403,63 a 11943,88 MPa (MOE paralelo) e de 71,49 a 78,83 MPa (MOR paralelo), para *Eperua oleifera* e *Copaifera duckei*, nessa ordem.

Os valores médios de MOE e MOR perpendicular às fibras variaram de 4732,66 a 7959,64 MPa (T2 e T3) e de 31,53 a 51,09 MPa (T2 e T3), respectivamente.

Observa-se que ocorreu diferença significativa entre as diferentes composições dos painéis, para MOE e MOR perpendicular. Os resultados inferem que os painéis com a capa e o miolo de *Z. ekmanii*, mostraram-se significativamente superiores aos outros tratamentos homogêneos (T1 e T2).

Lima (2011) ao avaliar a influência de diferentes composições de lâminas com as espécies *Cordia goeldiana* (C), *Brosimum parinarioides* (B), *Parkia gigantocarpa* (P) e o *Pinus* sp. (Pi), obteve valores médios de 4704,50 MPa (C/Pi); 4204,83 MPa (Pi/C); 3321,16 MPa (B/Pi); 4537,33 MPa (Pi/B); 4704,50 MPa (P/Pi) e 2948,16 MPa (Pi/P) para MOE perpendicular, e de 43,37 MPa (C/Pi); 41,91 MPa (Pi/C); 40,19 MPa (B/Pi); 46,87 MPa (Pi/B); 45,88 MPa (P/Pi); 30,37 MPa (Pi/P) para MOR perpendicular. Portanto, pode-se afirmar que os resultados deste estudo apresentaram desempenho satisfatório, quando comparados com os valores apresentados na literatura, para algumas espécies amazônicas.

Além disso, os valores médios obtidos nesta pesquisa são superiores as faixas de valores mencionadas pela ABIMCI (2007) para painéis comerciais de *Pinus* sp., do tipo exterior de 4731,64 a 8817,84 MPa (MOE paralelo); 25,77 a 51,74 MPa (MOR paralelo); 2128,46 a

4482,42 MPa (MOE perpendicular); 18,03 a 39,69 MPa (MOR perpendicular). Dessa forma, pode-se afirmar que os painéis avaliados apresentam boas características de resistência e rigidez, podendo ser indicados para a produção de painéis compensados.

4.3.2.2 Resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento

Os valores médios de resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento para o teste úmido e de fervura dos painéis, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Resistencia da linha de cola aos esforços de cisalhamento.

| Tratamento | RLC teste úmido (MPa) | RLC teste fervura (MPa) |
|------------|-----------------------|-------------------------|
| T1-Pi | 1,34 (17,82) b | 1,31 (24,75) b |
| T2-Zek | 3,77 (16,54) a | 3,64 (19,86) a |
| T3-Zek+Pi | 1,69 (16,16) b | 1,64 (11,70) b |
| T4-Pi+Zek | 1,56 (18,81) b | 1,55 (11,50) b |

Pi: *Pinus sp.*; **Zek:** *Zanthoxylum ekmanii*; **RLC:** Resistencia da linha de cola. ^{a,b}: Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Scott-Knott à 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação (%).

Considerando os requisitos normativos apresentados pela NBR ISO 12466-2 (2012), pode-se perceber que todos os tratamentos atingiram os valores mínimos especificados de 1 MPa, tanto no teste úmido quanto no de fervura, descartando as exigências de falha na madeira.

No que se refere à condição úmida, os valores médios variaram de 1,34 MPa (T1) a 3,77 MPa (T2). Os resultados inferem que o painel homogêneo de *Z. ekmanii* apresentou o melhor desempenho estatisticamente de resistência na linha de cola, em relação as demais composições. Verifica-se ainda que em termos absolutos os painéis com a capa e miolo de *Z. ekmanii* apresentaram valores superiores em relação ao painel puro de *Pinus sp.*

Machado et al. (2018) encontraram para painéis homogêneos e mistos de *Pinus elliottii* (Pi), Paricá (P) e Embaúba (E), valores médios na RLC na condição úmida de 1,00 MPa (E/P), 1,15 MPa (P), 1,26 MPa (P/E), e 1,26 MPa (E) e 1,32 MPa (Pi). Já Lima et al. (2011) e Cunha et al. (2016) obtiveram para painéis compensados fenólicos de *Copaifera duckei*, *Eperua oleífera* e *Pinus taeda*, valores médios de RLC de 3,54, 3,09 e 1,32 MPa, respectivamente.

Para o ensaio mais rigoroso (ciclo de fervura e secagem), os valores médios ficaram na faixa de 1,31 MPa (T1) a 3,64 MPa (T2). Observa-se, que assim como ocorreu na condição úmida, o painel puro de *Z. ekmanii* apresentou valores médios de resistência na linha de cola estatisticamente superior aos demais composições.

Lima (2011) ao avaliar a influência de diferentes composições de lâminas com as espécies *Cordia goeldiana* (C), *Brosimum parinarioides* (B), *Parkia gigantocarpa* (P) e o *Pinus sp.* (Pi), obteve valores médios para RLC no teste mais rigoroso de 2,00 MPa (C/Pi); 1,67 MPa (Pi/C);

2,00 MPa (B/Pi); 1,83 MPa (Pi/B); 1,83 MPa (P/Pi) e 1,75 MPa (Pi/P). Em outro estudo, Albino et al. (2010) e Palma et al. (2017) encontraram para painéis compensados fenólicos, valores médios de 1,82 MPa (*T. ciliata*); 2,00 MPa (*Pinus* sp./*T. ciliata*); 1,98 MPa (*T. ciliata/Pinus* sp.) e 1,30 MPa (*S. parahyba*). Resultados próximos aos encontrados neste estudo.

Além disso, os resultados de RLC obtidos neste estudo são satisfatórios e promissores em comparação com os valores mencionados pela ABIMCI (2007) para painéis compensados comerciais fenólicos de *Pinus*, tanto no teste úmido quanto no de fervura, cujos valores variam na faixa de 0,88 a 1,96 MPa.

Em geral, é possível afirmar que os painéis homogêneos e intercalados com *Z. ekmanii* apresentaram boa qualidade na colagem com resina FF em comparação aos painéis de *Pinus* sp. utilizada como espécie referencial, sendo assim recomenda-se o uso dessa espécie na produção de compensados para uso interno, intermediário e exterior.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, as seguintes conclusões são apresentadas:

- O teor de umidade dos painéis produzidos atende os requisitos exigidos pela ABIMCI para painéis compensados.
- Não houve influência da massa específica aparente dos painéis, nos resultados de MOE e MOR paralelo e perpendicular.
- Os valores médios das propriedades físicas indicam a viabilidade de uso de lâminas da madeira de *Z. ekmanii* na produção dos painéis compensados.
- Os painéis homogêneos e intercalados com *Z. ekmanii*, apresentaram resultados de cisalhamento na linha de cola e de flexão estática satisfatórios em relação à espécie referencial de *Pinus* sp.
- Os resultados da resistência da linha de cola e flexão estática paralela e perpendicular, foram compatíveis com os valores de referência encontrados na literatura para painéis comerciais de *Pinus* produzidos no Brasil.
- Dentre as composições de painéis compensados avaliados, os painéis homogêneos de *Z. ekmanni* apresentaram melhor desempenho.
- As avaliações gerais dos resultados indicam que *Z. ekmanii* apresenta boa qualidade na colagem com resinas UF e FF, e potencial na produção de painéis compensados, homogêneos, ou em combinação com *Pinus* sp.

6. RECOMENDAÇÕES

Durante a produção dos painéis compensados de *Z. ekmanni*, ocorreu migração da resina pelas bordas do painel, principalmente durante a confecção dos painéis com a resina fenol-formaldeído, sendo assim, recomenda-se a realização de estudos relacionados ao tempo de assemblagem e de armazenamento das lâminas, assim como um maior controle da viscosidade da batida de cola para que esta, não seja muito elevada, pois a madeira desse estudo possui poros poucos numerosos, variando de pequenos a grandes, fator este que pode dificultar a sua colagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9484:** Compensado - Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, p. 2, 2011a.

_____. **NBR 9485:** Compensado - Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, p.3, 2011b.

_____. **NBR 9486:** Compensado - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, p. 2, 2011c.

_____. **NBR 9535:** Compensado - Determinação do inchamento-Método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 3, 2011d.

_____. **NBR 9533:** Compensado - Determinação da resistência à flexão estática. Rio de Janeiro, p.5, 2012.

_____. **NBR 12466-1:** Compensado - Qualidade de colagem Parte 1: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12466-2:** Compensado - Madeira compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ALBINO, V. C. S.; SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; MENDES, M. M.; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 103-108, 2011.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de; IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S. Adesão e adesivos. In: IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF, p. 1-30, 2005.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga extensora nas propriedades do adesivo ureia formaldeído e dos compensados de pinus e paricá.** 2009. 86p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). Programa nacional da qualidade da madeira tropical e pinus. Disponível em:<<http://www.abimci.com.br>> Acesso em: 03 de junho de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Catálogo técnico de compensados de pinus.** p. 9, Curitiba, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Programa Nacional da Qualidade da Madeira: compensados de madeira tropical. Curitiba: ABIMCI, 2009.

BAUER, F. **Materiais de Construção 2.** Revisão técnica João Fernandes. Volume 2, Rio de Janeiro: LTC, 5º edição, 538p, 2008.

CABRAL, B. M. **Qualidade de painéis compensados de *pinus taeda* produzidos por indústrias da região de Irati/PR.** 2011. 43p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, 2011.

CARVALHO, A. G.; ZANUNCIO, A. J. V.; MORI, F. A.; MENSDES, R. F.; MENDES, L. M. Adesivos naturais e sintéticos em painéis compensados. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 7, n. 1, 2016.

CORREA, A. P. M.; LIMA, S. F.; SILVA, W. G.; STOLLE, L.; SILVA, A. A. P. Efeito do espaçamento sobre o crescimento e produção de eucalyptus de rápida rotação aos 24 meses de idade. **Research Society and Development**, v. 9, p. 6, 2020.

COSTA, A. A.; MASCARENHAS, A. R. P.; SANTOS, C. M. M.; FARIA, C. E. T.; DUARTE, P. J.; CRUZ, T. M. Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeiras de paricá. **Research Society Development**, v. 9, n. 8, Universidade Federal de Rondônia (UFR), Rondônia, 2020.

CUNHA, A. B.; RIOS, P. A.; STUPP, A. M.; ANTUNES, A.; BRAND, M. A. Produção de painéis compensados com resina fenólica e melamínica sem formaldeído. **FLORESTA**, v. 46, n. 4, p. 553-560, 2016.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Forestry production and trade. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>. Acesso em: 18 de setembro de 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: Wood handbook: wood as an engineering material. Madison: U.S. **Departament of Agriculture / Forest Service**, 2010.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de Pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p.71-77, 2001.

IWAKIRI, S.; SANCHES, F. G.; POTULSKI, D. C.; SILVA, J. B.; ANDRADE, M.; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de Pinus tropicais e Eucalipto na produção de painéis compensados ureicos. **Floresta e Ambiente**, v. 42, n. 2, p. 277-284, 2012.

KAZMIERCZAK, S.; HILLIG, E.; IWAKIRI, S. Painéis compensados fabricados com lâminas de três espécies de eucaliptos. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

KINAP, P. M. **Análise do desempenho físico-mecânico de painel compensado produzido com lâminas fagueadas e torneadas de madeira de pinus e eucalipto**. 2014. Monografia

(Bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Itapeva, 2014.

LIMA, N. N. Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da Amazônia. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da madeira). Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, 2011.

LIMA, N. N.; PIO, N. S. Avaliação da gramatura de cola na propriedade de flexão estática em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dwayer e *Eperua oleifera* Ducke. **Acta amazônica**, v. 37, p. 347-352, 2007.

LIMA, N. N.; PIO, N. S.; CUNHA, U. S.; FILHO, F. C. L.; FILHO, J. B. Influência da gramatura na resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dawyer e *Eperua oleifera* Ducke. **Acta amazônica**, v. 41, n. 1, p. 83-90, 2011.

MACEDO, A. R. P.; ROQUE, C. A. L. **Painéis de madeira.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 6, p. 117-132, 1997.

MACHADO, J. F.; HILLIG, E.; WATZLAWICK, L. F.; BEDNARCZUK, E.; TAVARES, E. L. Production of plywood panel for exterior use with Paricá and Embaúba timbers. **Revista Árvore**, v. 42, n. 4, 2018.

MATOS, A. C; JUNIOR, J. B. G.; BORGES, C. C.; MATOS, L. C.; FERREIRA, J.C.; MENDES, L. M. Influência de diferentes composições de lâminas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* (Schiede ex Schldl) para produção de compensados multilaminados. **Scientia florestalis**, v. 47, n. 124, p. 799-810, Piracicaba, 2019.

MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; RIBEIRO, A. S.; FERNANDES, F. B. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**, 2017.

PALMA, H. A. L.; MORENO, J. S.; BALLARIN, A. W. COMPENSADOS DE GUAPURUVU (*Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake). In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da madeira. **Anais eletrônicos...Florianópolis: III CBCTEM**, 2017. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbctem?lang=pt-br>> Acesso em 30/06/2021.

SCHULTZ, A. C. P. Avaliação da colagem e da variação de umidade na produção de painéis compensado com mistura de espécies. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2008.

SILVA, J. G. M., NETO, P. N. M., SORANZO, D. R., TINTI, V. P., OLIVEIRA, J. T. S., OLIVEIRA, J. G. L. (2020). Influência da anatomia no desempenho da adesão de quatro espécies madeireiras. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, 2020.

SILVA, R. L. Comparativo da placa de osb home plus com a placa de compensado naval como contravetamento e fechamento vertical externo do sistema light steel framing. Centro Universitário Planalto do Distrito Federal (UNIPLAN), Brasília, 2017.

SNIF. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2020). Exportação e importação. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/>. Acesso em: 18 de setembro de 2020.

VIDOTTO, F. M. Propriedades físicas de painéis de madeira comercializados em Cuiabá-MT. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, 2017.