



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ALICE SOARES BRITO

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DA CASCA DE ÁRVORES DE *Khaya*
grandifoliola C. DC. PARA USOS MÚLTIPLOS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

ALICE SOARES BRITO

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DA CASCA DE ÁRVORES DE *Khaya grandifoliola* C. DC. PARA USOS MÚLTIPLOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Ciências Florestais na área de concentração Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S676c Soares Brito, Alice, 1992-
Caracterização da madeira e da casca de árvores de *Khaya grandifoliola* C. DC. para usos múltiplos / Alice Soares Brito. - 2021.
91 f. : il.

Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves.
Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Mogno. 2. Propriedades tecnológicas da madeira. 3. Colagem. 4. Aglomerados. 5. Taninos. 6. Madeira de desbaste. I. Gomes Gonçalves, Fabricio. II. Baptista Vidaurre, Graziela. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630*38

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DA CASCA DE ÁRVORES DE
Khaya grandifoliola C. DC. PARA USOS MÚLTIPLOS**

Alice Soares Brito

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 30 de agosto de 2021.



Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Leles (Examinador externo)

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Dr. Yonny Martinez Lopez (Examinador externo)

Universidade Federal do Espírito Santo



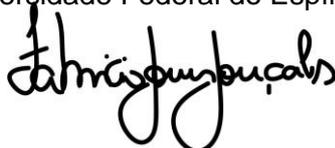
Prof. Dr. Dercílio Junior Verly Lopes (Examinador externo)

Universidade Estadual do Mississippi



Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho (Examinador interno)

Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves (Orientador)

Universidade Federal do Espírito Santo

*Aos meus pais Luiz Soares de Oliveira e Maria do Socorro Brito Soares,
e à minha irmã Ana Luiza Soares Brito, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, autor de mais este capítulo da minha vida, por permitir-me chegar até aqui.

A Virgem Maria, pela intercessão constante.

A minha família, base do meu viver e razão do meu lutar, pelas orações, estímulo e amor incondicional. A vocês ainda, o meu agradecimento por financiar metade deste sonho.

A UFES e, especialmente, ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade e estrutura durante o doutorado.

Ao Grupo pela doação do material de estudo e ao meu amigo, Ronilson da Cunha, pelo transporte gratuito do mesmo de Salinas, MG a Jerônimo Monteiro, ES.

A CAPES pela bolsa concedida.

Ao Prof^o Fabrício Gomes Gonçalves, meu orientador, pela receptividade, convívio, presteza e troca de conhecimento que tanto contribuíram para a realização desta pesquisa.

A Prof^a Graziela Baptista Vidaurre, minha coorientadora, por apresentar-me a cultura do Mogno Africano e por ter intermediado o primeiro contato com a Associação Brasileira dos Produtores de Mogno Africano (ABPMA), da qual hoje tenho o orgulho de participar como pesquisadora parceira.

Aos professores e pesquisadores Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, Yonny Martinez Lopez, Dercilio Junior Verly Lopes e Roberto Carlos Costa Lelis, por aceitarem participar da banca examinadora.

Aos técnicos pelo auxílio no desdobro da madeira e na realização das análises laboratoriais.

A Prof^a Rejane Costa Alves pelo suporte na realização da caracterização mecânica desta madeira.

Aos colegas do Laboratório de Painéis pela convivência e pela ajuda prestada em algum momento deste trabalho.

A João Gabriel Missia da Silva e Ramon Ferreira Oliveira, pela parceria desde o mestrado.

A Brunela Pollastrelli Rodrigues pela saudosa amizade e pelas sugestões nesta pesquisa.

A Damielle Leite Figueiredo pela amizade e pelo suporte psicológico nesta reta final.

A minha amiga, colega de laboratório e companheira de república Izabella Luzia Silva Chaves, obrigada por **TUDO!!!** Sem dúvidas, foi você a pessoa que dividi a maior parte do meu tempo e dos meus sentimentos durante esse doutorado. Agradeço ainda toda ajuda e apoio prestado para a realização e concretização deste trabalho. Estendo aqui meu agradecimento a seu pai, Aldecir Rodrigues Chaves, por ter nos acompanhado na coleta da madeira estudada.

Aos queridos amigos que esses anos em Jerônimo Monteiro me trouxeram e que dispensa nomes porque sabem quem são: vivemos momentos inesquecíveis aqui. Espero ter a chance de reencontrá-los nessa roda gigante chamada *vida!*

A todos vocês e aos que a emoção me impediu de lembrá-los, minha mais terna
GRATIDÃO!

RESUMO GERAL

BRITO, Alice Soares. **CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DA CASCA DE ÁRVORES DE *Khaya grandifoliola* C. DC. PARA USOS MÚLTIPLOS**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves. Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre.

O objetivo deste estudo foi caracterizar as propriedades físico-mecânicas da madeira de *Khaya grandifoliola*, proveniente de desbaste em plantio comercial aos 10 anos de idade, bem como avaliar a resistência de juntas coladas desta madeira em diferentes faces de colagem, utilizando quatro adesivos. Objetivou-se ainda produzir e qualificar física e mecanicamente painéis aglomerados, homogêneos e mistos, associados a partículas de madeira de pinus e, por fim, quantificar o rendimento em taninos condensados obtido das cascas das árvores, com adição de dois sais, em diferentes concentrações. Foram amostradas cinco árvores, delas foram retirados discos a 1,3 m do solo (DAP) e 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial de cada árvore para a realização da caracterização física da madeira. Das cinco árvores, destinou-se o primeiro torete (base-DAP) à caracterização mecânica, o terceiro torete (25%-50%) à colagem das juntas e o último torete (75-100%) à produção dos painéis aglomerados. Das cascas dos discos, procedeu-se à extração dos taninos. Os resultados demonstraram que a madeira de *K. grandifoliola* estudada é de baixa densidade, sendo moderadamente estável dimensionalmente e, por vezes, de baixa resistência mecânica. A espécie demonstrou potencial para a confecção de produtos colados, sobretudo nas faces tangencial/radial e utilizando o adesivo melamina-ureia-formaldeído. A madeira, proveniente de desbaste, possui ainda potencial promissor para a produção de painéis aglomerados, sendo percebido que a inclusão de partículas de mogno africano resultou, de modo geral, em painéis com maior estabilidade dimensional e melhores propriedades mecânicas. Quanto à extração de taninos, a adição de 3% de sulfito de sódio ao extrato proporcionou a melhor média de taninos condensados, sendo esta igual a 10,07%.

Palavras-chave: mogno africano; propriedades físico-mecânicas; colagem; painéis aglomerados; taninos.

GENERAL ABSTRACT

BRITO, Alice Soares. **CHARACTERIZATION OF WOOD AND BARK FROM *Khaya grandifoliola* C. DC. TREES TO MULTIPLE USES**. 2021. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves. Co-advisor: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre.

The objective of the study was to characterize the physical-mechanical properties of *Khaya grandifoliola* wood, coming from thinning in commercial plantation at 10 years of age, as well as to evaluate the strength of glued joints of this wood in different glued faces, using four adhesives. The objective was also to produce and physically and mechanically qualify particleboard, homogeneous and mixed, associated with pine wood particles and, finally, to quantify the yield of condensed tannins obtained from the bark of trees, with the addition of two salts, in different concentrations. Five trees were sampled, and discs were removed from them at 1,3 m from the ground (DBH) and at 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height of each tree to carry out the physical characterization of the wood. Of the 5 trees, the first short piece (base-DBH) was used for mechanical characterization, the third piece (25%-50%) for bonding the joints and the last piece (75-100%) for the production of particleboards. From the disc peels, tannins were extracted. The results showed that the wood of *K. grandifoliola* studied is of low density, being moderately dimensionally stable and, sometimes, of low mechanical strength. The species showed potential for making glued products, especially on the tangential/radial sides and using the melamine-urea-formaldehyde adhesive. The wood, from thinning, still has promising potential for the production of particleboards, being perceived that the inclusion of african mahogany particles resulted, in general, in panels with greater dimensional stability and better mechanical properties. As for the tannin extraction, the addition of 3% sodium sulfite to the extract provided the best average of condensed tannins, which was equal to 10,07%.

Keywords: african mahogany; physical-mechanical properties; collage; particleboards; tannins.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. REFERÊNCIAS.....	14
3. OBJETIVO GERAL.....	15
3.1. Objetivos específicos	15
4. ESTRUTURA DA TESE E AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES	16
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA DE ÁRVORES DE <i>Khaya grandifoliola</i> PROVENIENTES DE DESBASTE	17
1. INTRODUÇÃO	19
2. MATERIAL E MÉTODOS	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Caracterização física da madeira	21
4.2. Caracterização mecânica da madeira	26
5. CONCLUSÕES	28
6. REFERÊNCIAS.....	30
RESISTÊNCIA DE JUNTAS COLADAS DA MADEIRA DE <i>Khaya grandifoliola</i> COM DIFERENTES ADESIVOS E FACES DE COLAGEM	34
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1 Origem da madeira e dos adesivos.....	37
2.2 Colagem da madeira	38
2.3 Análise estatística dos dados	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4. CONCLUSÕES.....	47
5. REFERÊNCIAS.....	48
PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA DE PINUS E MOGNO AFRICANO PROVENIENTE DE DESBASTE.....	52
1. INTRODUÇÃO	54
2. MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1 Material e amostragem.....	55
2.2 Caracterização físico-química da madeira	55
2.3 Propriedades reológicas do adesivo	56
2.4 Produção dos painéis aglomerados	56
2.5 Avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis	57

2.6	Análise estatística dos dados	58
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.1.	Propriedades da madeira.....	59
3.2.	Propriedades do adesivo.....	60
3.3.	Propriedades dos painéis aglomerados.....	61
4.	CONCLUSÕES.....	68
5.	REFERÊNCIAS.....	69

	QUANTIFICAÇÃO DE TANINOS CONDENSÁVEIS EM CASCAS DE <i>Khaya grandifoliola</i> ...	74
1.	INTRODUÇÃO	76
2.	MATERIAL E MÉTODOS	77
2.1.	Material e amostragem.....	77
2.2.	Extração e determinação do rendimento em taninos condensados	78
2.3.	Análise estatística dos dados	79
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
3.1.	Rendimento tânico	81
3.2.	Variação longitudinal dos taninos no fuste.....	83
4.	CONCLUSÕES.....	86
5.	REFERÊNCIAS.....	87
6.	CONCLUSÕES GERAIS	91

1. INTRODUÇÃO GERAL

O mogno africano, como é conhecido as várias espécies do gênero *Khaya* (*K. ivorensis*, *K. senegalensis*, *K. anthotheca*, *K. grandifoliola*, dentre outras), é uma das principais espécies comerciais de madeira nobre cultivada no Brasil. Estima-se, ainda, que o país seja o maior plantador mundial deste gênero, seguido da Austrália, e que a área plantada já tenha ultrapassado 37 mil hectares (IEDE, 2019).

As primeiras árvores de mogno africano foram estabelecidas no Brasil há 48 anos, no ano de 1973, plantadas pelo pesquisador Ítalo Cláudio Falesi na sede da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém (PA). As sementes foram um presente de um representante do Ministério de Agricultura e Floresta da Costa do Marfim e tidas por tal como “o ouro do futuro”, pelo reconhecido valor comercial da madeira (FALESI; BITTENCOURT, 2011).

Em razão do seu valor de mercado e de sua capacidade de reflorestamento, somado às características tecnológicas de sua madeira, o cultivo desta meliácea exótica tem chamado à atenção de investidores em vários lugares do mundo, inclusive no Brasil, sendo também uma alternativa ao cultivo e extração do mogno brasileiro, reconhecidamente atacado pela *Hypsipyla grandella* (broca da ponteira) e protegido de exploração e comercialização desde 19 de outubro de 2001 pela Instrução Normativa nº 17 do IBAMA (BRASIL, 2001).

Com relação à produtividade de florestas plantadas, é indiscutível a vantagem competitiva do país. A cultura se adaptou muito bem em várias regiões do Brasil, o que possibilitou e estimulou a implantação de diversos empreendimentos (AQUINO et al., 2018), sendo 66% dos plantios localizados em Minas Gerais e o restante nos estados de: Goiás, Tocantins, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Pará e Santa Catarina. Dentre as espécies do gênero *Khaya*, a *K. senegalensis* e a *K. grandifoliola* são as mais plantadas no território nacional (ABPMA, 2021).

A *Khaya grandifoliola* foi classificada no Brasil até o ano de 2019 como *Khaya ivorensis*. O erro taxonômico foi corrigido pelo Dr. Ulrich Gaël Bouka Dipelet, atualmente o maior especialista no gênero *Khaya* do mundo, o qual veio ao país a convite da Associação Brasileira dos Produtores de Mogno Africano para refazer a identificação das árvores plantadas na Embrapa, em Belém (PA), das quais se originou grande parte dos plantios do Brasil (ABPMA, 2020).

Distribuída naturalmente na porção centro-oeste do continente africano, a *Khaya grandifoliola* ocorre em altitudes de até 1400 metros, com precipitação média anual variando entre 1200 a 1800 milímetros. Sua classificação prevê árvores de médio a grande porte, com até 40 metros de altura e 200 centímetros de diâmetro. Sua madeira é

utilizada na fabricação de móveis, laminados decorativos, construções e pisos leves, construção naval, acabamentos internos, instrumentos musicais, brinquedos, artesanatos, utensílios domésticos, dentre outros usos (PINHEIRO et al., 2011).

Entretanto, a maioria dos plantios comerciais de mogno africano no Brasil ainda é jovem e o desbaste seletivo de algumas árvores é uma realidade a ser considerada pelos silvicultores. Como a implantação e condução da cultura no país é algo recente, a maneira como esse desbaste será conduzido e, sobretudo, o destino da madeira desbastada ainda é causa de inquietude entre os produtores.

Destinar a madeira para determinado fim requer o conhecimento detalhado de suas propriedades, sendo este conhecimento também fundamental para aumentar as alternativas de uso da espécie. No entanto, as pesquisas publicadas quanto à madeira do gênero *Khaya*, em geral, ainda são escassas e recentes no Brasil. Quanto à espécie *Khaya grandifoliola*, recentemente reclassificada, este trabalho é até então o primeiro publicado no país.

Dividida em 4 capítulos que permitirão um conhecimento geral das propriedades da madeira de *Khaya grandifoliola* proveniente de desbaste, esta tese traz também o comportamento da mesma no processo de colagem e na confecção de painéis aglomerados. Foi abordada ainda a extração de taninos das cascas, um dos principais resíduos dos plantios comerciais de espécies florestais.

2. REFERÊNCIAS

AQUINO, S. M.; PINHEIRO, A. L.; AQUINO JR, H. M.; AQUINO, W. M.; BRITO, R.; PINHEIRO, D. T.; COUTO, L. **Mogno africano - Produção de madeira nobre no Brasil**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Florestas, 2018. 92p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MOGNO AFRICANO – ABPMA. **Dr Ulrich Gaël e a *Khaya grandifoliola* no Brasil**. Belo Horizonte: ABPMA, 2020. 21p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1SN0JSre5Prp8WZoLAWBuzuCnxaq4iqP_/view>. Acesso em: 01 Ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MOGNO AFRICANO – ABPMA. **Sobre a Associação**. 2021. Disponível em: <<https://abpma.org.br/>>. Acesso em: 01 Ago. 2021.

BRASIL. Instrução Normativa nº 17, de 19 de outubro de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 Out, 2001.

FALESI, I. C.; BITTENCOURT, I. C. F. P. M. **Pragas e Doenças da *Khaya ivorensis* A. Chev. – Mogno Africano**. In: 1º Workshop Brasileiro de Mogno Africano. Goiânia. p. 1-12. 2011. Acesso em: <<https://abpma.org.br/wp-content/uploads/Artigo-Prof-Falesi-site-pragas-e-doen%C3%A7a-khaya.pdf>> Acesso em: 01 Ago. 2021.

IEDE, E. T. Apresentação. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Org.). **Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2019. p. 8-10.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya spp.*)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

3. OBJETIVO GERAL

Fornecer a caracterização tecnológica da madeira de árvores de *Khaya grandifoliola* provenientes de desbaste, aos 10 anos de idade, e sugerir diferentes usos da mesma, de forma a potencializar o uso dessa matéria-prima.

3.1. Objetivos específicos

- Determinar as propriedades físicas, mecânicas e químicas da madeira;
- Avaliar a colagem da madeira em diferentes faces, mediante adesivos químicos comerciais por meio da resistência ao cisalhamento na linha de cola;
- Confeccionar e avaliar tecnologicamente painéis aglomerados;
- Extrair e quantificar os compostos tânicos da casca de árvores de mogno africano.

4. ESTRUTURA DA TESE E AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES

Para atingir aos objetivos, esta tese foi dividida em quatro capítulos, cujos temas são:

Capítulo I - Caracterização físico-mecânica da madeira de árvores de *Khaya grandifoliola* provenientes de desbaste.

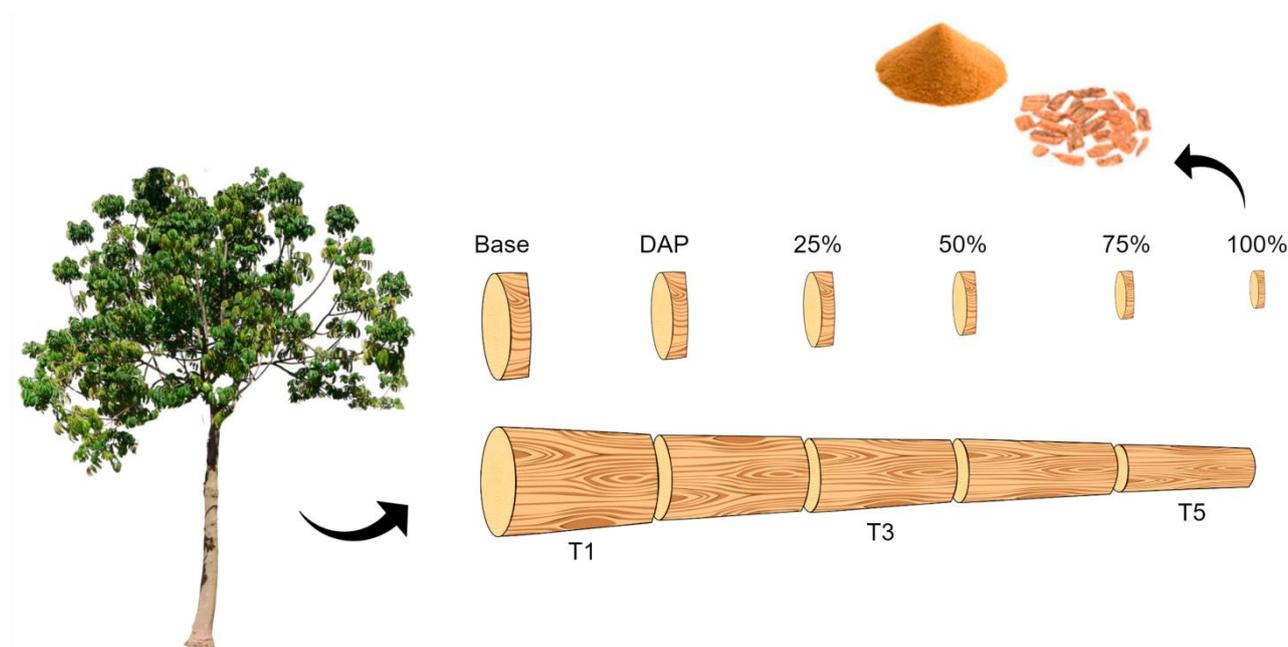
Capítulo II - Resistência de juntas coladas da madeira de *Khaya grandifoliola* com diferentes adesivos e faces de colagem.

Capítulo III - Painéis de madeira aglomerada de pinus e mogno africano proveniente de desbaste.

Capítulo IV - Quantificação de taninos condensáveis em cascas de *Khaya grandifoliola*.

Para a realização do estudo foram amostradas cinco árvores de mogno africano, até a altura comercial, das quais se obteve discos e toras (Figura 1). Dos discos e da primeira tora (T1) de cada árvore originou-se o Capítulo I, da terceira tora (T3) o Capítulo II e da última tora (T5) o Capítulo III. Dos discos, retirou-se as cascas para a execução do Capítulo IV.

Figura 1. Amostragem das árvores de *Khaya grandifoliola*



Fonte: a autora.

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA DE ÁRVORES DE *Khaya grandifoliola* PROVENIENTES DE DESBASTE

Resumo: O conhecimento das propriedades da madeira fornece informações essenciais para o direcionamento dessa matéria-prima ao uso mais adequado. Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi caracterizar as propriedades físico-mecânicas da madeira de *Khaya grandifoliola*, proveniente de desbaste aos 10 anos de idade, a fim de direcionar o melhor aproveitamento da mesma e contribuir para a geração de produtos de maior valor agregado. Para o estudo da caracterização físico-mecânica da madeira, foram amostradas cinco árvores. Delas foram retirados discos a 1,3 m do solo (DAP) e 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial de cada árvore, para a determinação das propriedades físicas da madeira. Para avaliação das propriedades mecânicas, foi utilizado um pranchão central, retirado da primeira tora de cada árvore. Os dados foram tabulados e utilizou-se da estatística descritiva para análise e descrição os resultados. Os valores médios encontrados para a densidade básica e densidade aparente da madeira de mogno africano (*K. grandifoliola*) foram $0,46 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,56 \text{ g cm}^{-3}$. A retração volumétrica foi igual a 10,15%, sendo: 3,71% (radial), 6,06% (tangencial) e 0,38% (longitudinal). O coeficiente anisotrópico foi igual a 1,63. Quanto às propriedades mecânicas, os valores médios de resistência e rigidez obtidos foram: 70,92 MPa e 7.019,60 MPa para MOR e MOE; 37,23 MPa e 13,43 MPa para compressão paralela e normal às fibras; 10,20 MPa para cisalhamento; 64,75 MPa para tração paralela às fibras; 0,59 MPa para fendilhamento e 58,35 MPa e 45,25 MPa para dureza Janka paralela e normal às fibras, respectivamente. A madeira de *K. grandifoliola*, proveniente de desbaste aos 10 anos de idade, é classificada como de baixa densidade e moderadamente estável dimensionalmente, o que permite seu uso no setor moveleiro e em objetos e ocasiões que não exijam grandes resistências mecânicas. Uma alternativa de agregar valor a este material também seria utilizá-lo como madeira engenheirada.

Palavras-chave: mogno africano; propriedades físicas; propriedades mecânicas; madeira jovem.

CHAPTER I

PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF WOOD FROM *Khaya grandifoliola* TREES FROM THINNING

Abstract: Knowledge of the properties of wood provides essential information for directing this raw material to the most appropriate use. Therefore, the objective of this work was to characterize the physical-mechanical properties of *Khaya grandifoliola* wood, coming from thinning at 10 years of age, in order to guide the best use of it and contribute to the generation of higher value-added products. To study the physical-mechanical characterization of wood, five trees were sampled. Discs were removed from them at 1,3 m from the ground (DBH) and at 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height of each tree, to determine the physical properties of the wood. To evaluate the mechanical properties, a central plank was used, taken from the first log of each tree. Data were tabulated and descriptive statistics were used to analyze and describe the results. The mean values found for the basic density and apparent density of the wood of African mahogany (*K. grandifoliola*) studied were 0,46 g cm⁻³ and 0,56 g cm⁻³. The volumetric shrinkage was equal to 10,15%, being: 3,71% (radial), 6,06% (tangential) and 0,38% (longitudinal). The anisotropic coefficient was equal to 1,63. As for the mechanical properties, the average values of strength and stiffness obtained were: 70,92 MPa and 7,019.60 MPa for MOR and MOE; 37,23 MPa and 13,43 MPa for parallel and normal fiber compression; 10,20 MPa for shear; 64,75 MPa for traction parallel to the fibers; 0,59 MPa for cracking and 58,35 MPa and 45,25 MPa for Janka hardness parallel and normal to the fibers, respectively. The wood of *K. grandifoliola*, from thinning at 10 years of age, is classified as low density and moderately dimensionally stable, which allows its use in the furniture sector and in objects and occasions that do not require great mechanical resistance. An alternative to add value to this material would also be to use it as engineered wood.

Keywords: african mahogany; physical properties; mechanical properties; juvenile wood.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que apresenta grande potencial para implantação e condução de florestas plantadas por oferecer excelentes características edafoclimáticas e alta tecnologia silvicultural. Uma vez consolidada no mercado internacional e com base na crescente demanda mundial por madeira e seus produtos, a madeira exótica de mogno africano tem sido fonte de investimento para silvicultores brasileiros nos últimos anos (RIBEIRO; FERRAZ FILHO; OLIVEIRA, 2019).

Com o objetivo de atender tal demanda, as florestas brasileiras de mogno-africano estão sendo manejadas com idades de rotação variando entre 15 a 20 anos de idade, com desbastes ao longo do ciclo de rotação (SILVA et al., 2016). Assim, a madeira ofertada nesta condição poderá ser afetada por grandes proporções de lenho juvenil, reduzindo conseqüentemente suas propriedades físico-mecânicas, o que pode refletir em menores valores no mercado.

A utilização correta da madeira demanda o conhecimento de suas propriedades, em especial as físicas e as mecânicas quando se trata de madeira serrada. Dentre tais propriedades, a determinação da densidade, da retratibilidade e das constantes elásticas (Ruptura e Elasticidade) fornecem informações essenciais para o direcionamento da matéria-prima ao seu uso mais adequado.

A densidade é a propriedade mais comumente estudada para o início da qualificação do lenho das espécies florestais. A retratibilidade, por sua vez, é outra importante variável física, a qual avalia a estabilidade dimensional da madeira e sua propensão a defeitos, como empenamentos e rachaduras, por exemplo. Em relação às propriedades mecânicas, estas são usualmente estudadas para definir a aplicação da madeira principalmente quando as utilizações requererem maior resistência e rigidez (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010; MOHD-JAMIL; KHAIRUL, 2017; GLASS; ZELINKA, 2021).

Considerando que o cultivo comercial de mogno africano no Brasil é recente, poucos são os trabalhos científicos acerca das propriedades da madeira até o momento. Dentre os existentes, pode-se elencar estudos de árvores provenientes de plantios experimentais (SORANSO et al., 2016), isolados (CARVALHO; SILVA; LATORRACA, 2010) e de áreas protegidas (MEDEIROS NETO; PAES; SILVA et al., 2016; VIDAURRE et al., 2017; SORANSO et al., 2018; FRANÇA et al., 2015, 2016, 2018). Já os estudos referentes a madeiras de plantios comerciais, destacam-se os realizados por Moraes et al. (2019), Santos et al. (2020) e Campos (2020).

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi caracterizar as propriedades físico-mecânicas da madeira de *Khaya grandifoliola*, proveniente de desbaste em plantio comercial aos 10 anos de idade, a fim de direcionar o melhor aproveitamento da mesma e contribuir para a geração de produtos de maior valor agregado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada para o estudo é proveniente de um plantio comercial de árvores de *Khaya grandifoliola*, implantado em espaçamento de 6 m x 6 m, localizado na cidade de Pirapora, Minas Gerais. Os indivíduos coletados são provenientes de um desbaste realizado aos 10 anos de idade. O plantio é de origem seminal e irrigado desde a implementação por sistema de gotejamento, 5 mm/dia, entre os meses de abril a outubro. Com altitude de 450 metros, a precipitação e a temperatura média nesse intervalo de tempo (2009-2019) foram iguais a 949 mm e 23 °C.

Para realizar o estudo da caracterização físico-mecânica da madeira, foram amostradas cinco árvores. Delas foram retirados discos com aproximadamente 5 cm de espessura a 1,3 m do solo (DAP) e 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial de cada árvore, considerada a partir da inserção do primeiro galho. As árvores possuíam valores médios de DAP de 29,74 cm, altura total de 20,08 m e altura comercial de 10,25 metros.

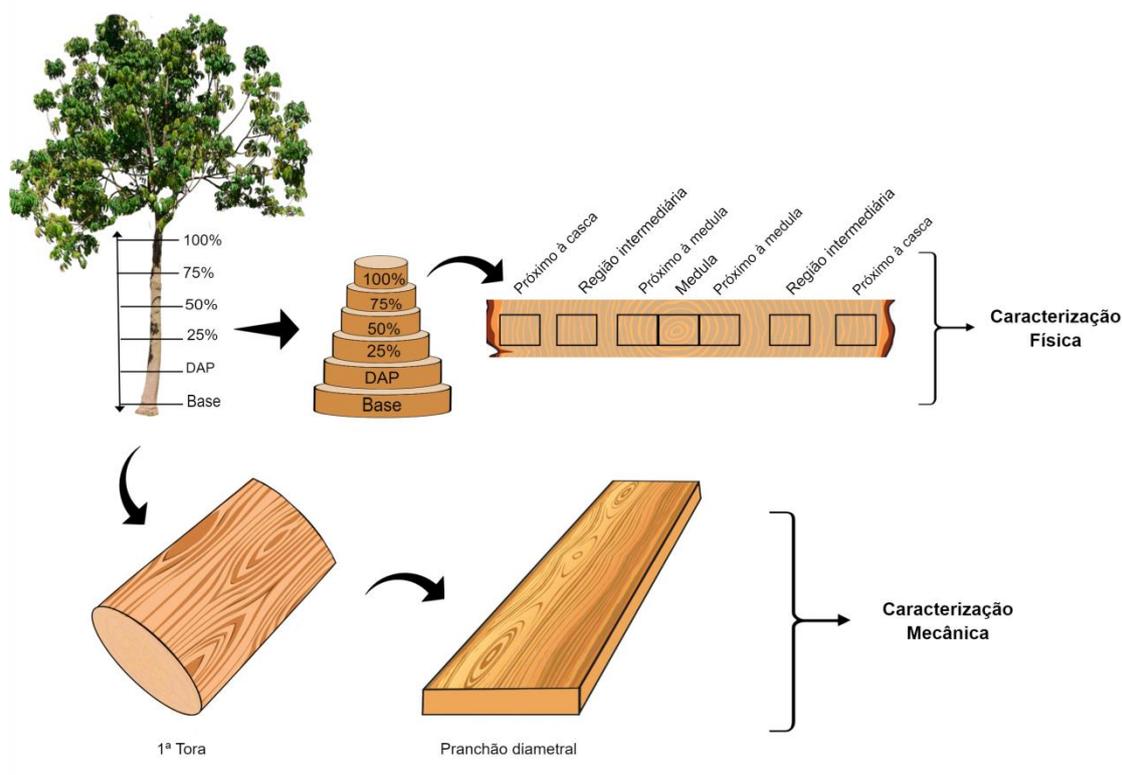
Para determinação das propriedades físicas da madeira de *Khaya grandifoliola*, foram retirados sete corpos de prova (2 x 3 x 5 cm) de cada disco. Um na região medular, três à esquerda e três à direita em posições equidistantes, conforme a Norma Brasileira - NBR 7190, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997) e ilustra a Figura 1. Assim, foram amostrados 42 corpos de prova por árvore, totalizando 210 amostras para determinação da densidade básica, da densidade aparente e da retratibilidade da madeira.

Para a determinação das propriedades mecânicas, foi utilizada a primeira tora de cada árvore, e dela retirou-se um pranchão central (Figura 1). Amostrou-se, aleatoriamente, 15 corpos de prova isentos de defeitos e de madeira de medula por propriedade. Foram realizados ensaios de flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade), compressão paralela e normal às fibras, cisalhamento, tração paralela às fibras, fendilhamento e dureza Janka paralela e normal às fibras seguindo as recomendações da norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os testes mecânicos foram realizados utilizando uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas. Não foi necessária a transformação dos dados, visto

que a madeira apresentava 12% de umidade no momento de realização destas análises, conforme mencionado na norma.

Figura 1. Esquema de amostragem das árvores de *Khaya grandifoliola*, provenientes de desbaste aos 10 anos de idade, com as devidas demarcações de retirada dos corpos de prova para caracterização físico-mecânica da madeira



Fonte: a autora.

Os dados foram tabulados e utilizou-se da estatística descritiva para análise e descrição dos resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização física da madeira

A densidade é a propriedade mais estudada da madeira, pois além de ser uma propriedade de fácil e rápida medição, possui influência no direcionamento dos processos produtivos das empresas de base florestal e conseqüentemente, na qualidade dos produtos madeireiros (OLIVEIRA et al., 2021).

Os valores médios encontrados para a densidade básica e densidade aparente da madeira de mogno africano (*K. grandifoliola*) estudada foram $0,46 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,56 \text{ g cm}^{-3}$,

respectivamente. De acordo com a classificação proposta por Marques, Melo e Martins (1997) e conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), a madeira de *K. grandifoliola* do presente estudo, proveniente de árvores de desbaste, é classificada como de baixa densidade. Essa classificação sugere usos que não requerem resistências mecânicas altas, tais como produção de móveis, lâminas decorativas, compensados e construção civil leve interna (lambris, forros, rodapés, etc).

Gavor, Opuni-Frimpong e Frimpong-Mensah (s.d.) avaliando também a densidade básica da madeira de *Khaya grandifoliola* aos 10 anos de idade, em duas diferentes zonas ecológicas de Gana, obtiveram valores médios entre 0,54 e 0,62 g cm⁻³, ambos superiores aos encontrados neste trabalho, provavelmente em consequência da variabilidade genética, do ambiente e da interação desses dois fatores (RUY, 1998).

Para a mesma espécie, Gbaguidi Aisse, Zohoun e Kouchade (2008) encontraram valores médios de densidade básica igual a 0,59 g cm⁻³ e Donkor (1997) quantificou em 0,72 g cm⁻³ a densidade aparente. Ambos os trabalhos avaliaram árvores procedentes de extrativismo (florestas naturais), no continente africano, e os maiores valores de densidade observados devem também estar associados à maior idade dessas árvores.

O aumento da densidade com a idade das árvores é resultado da formação da madeira adulta e conseqüentemente de propriedades mais estáveis (TOMAZELLO FILHO, 1987). De acordo Sanwo (1987), para a maioria das espécies, a madeira formada durante os primeiros 10 anos de crescimento é considerada juvenil e as propriedades da mesma tendem a possuir grandes variações (AMARASEKERA; DENNE, 2002).

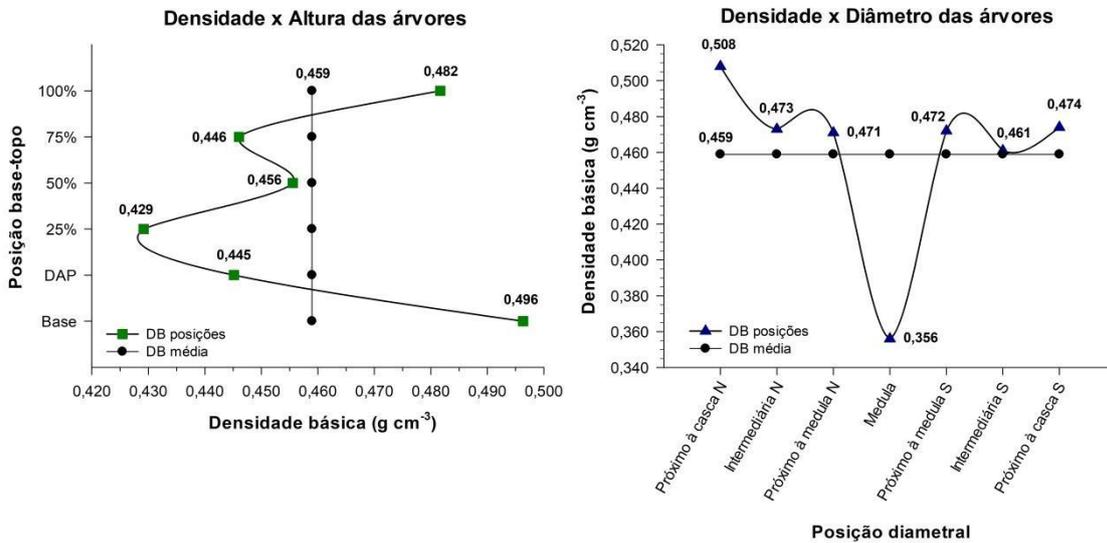
Para árvores de mogno africano (*Khaya ivorensis*) cultivadas no Brasil e avaliadas na mesma idade do presente estudo (10 anos), Campos (2020), Santos et al. (2020), Mariano (2017) e Carvalho, Silva e Latorraca (2010) encontraram valores médios de densidade básica de 0,45, 0,53, 0,53 e 0,47 g cm⁻³, respectivamente. Valores estes, considerados próximos aos deste estudo. Quanto à densidade aparente, Campos (2020) e Carvalho, Silva e Latorraca (2010) quantificaram-na em 0,55 e 0,63 g cm⁻³, em ordem.

Os valores de densidade básica evidenciaram variações tanto no sentido base-topo do fuste como no sentido medula-casca (Figura 2). De modo geral, a densidade básica da madeira de *K. grandifoliola*, aos 10 anos de idade, decresceu da base para o topo, sendo os menores valores observados na porção central da árvore.

Sette Jr et al. (2012) atribuíram esse comportamento, de maior densidade nas extremidades, às exigências mecânicas de sustentação do tronco e da copa das árvores. Comportamento semelhante da densidade básica ao longo do tronco também foi

encontrado por Santos et al. (2020), Mariano (2017), Moraes (2017) e França et al. (2015) estudando *K. ivorensis* e *K senegalensis*, em diferentes idades e locais de plantio.

Figura 2. Variação longitudinal e radial da densidade básica da madeira de *Khaya grandifoliola* proveniente de desbaste, aos 10 anos de idade

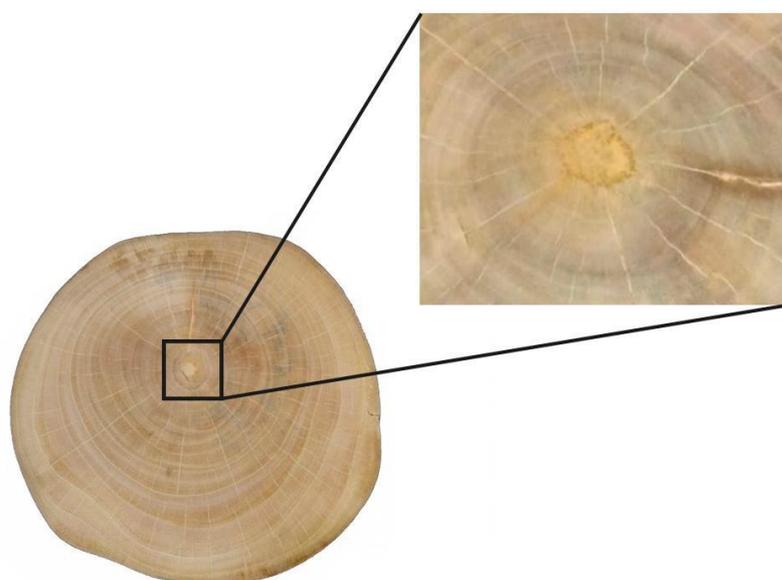


Fonte: a autora

Na direção radial, a densidade básica da madeira de *K. grandifoliola* aumentou no sentido medula-casca (Figura 2), o que está relacionado com a presença de madeira juvenil na região central próxima à medula, formada nos primeiros anos de crescimento da árvore (VIDAURRE et al., 2011; SORANSO et al., 2016). Ressalta-se ainda que a brusca redução da densidade básica na região da medula é reflexo de um material extremamente poroso observado nas árvores avaliadas, o qual é visível a olho nu e se distingue facilmente pela cor e pela textura das outras porções avaliadas (Figura 3).

Siqueira (2015) e Stevens (2017) estudaram o efeito da variação radial na densidade aparente, em árvores de *K. ivorensis* em torno de 30 anos de idade, cultivadas em Seropédica, Rio de Janeiro. Os valores de densidade foram menores na região próxima à medula, com tendência de aumento à medida que se distanciavam dessa região. Ressalta-se que a densidade atingiu um valor máximo na sexta posição, em torno de 20 cm de distância da medula, e decresceu deste ponto até a casca. Ainda segundo Siqueira (2015) o decréscimo nos valores de densidade coincidiu com a transição dos lenhos de cerne e alburno.

Figura 3. Ilustração da região medular da madeira de árvores de *Khaya grandifoliola*, provenientes de desbaste aos 10 anos de idade



Fonte: a autora

A tendência ora conflitante entre os resultados deste estudo com os resultados apresentados por Siqueira (2015) e Stevens (2017) provavelmente estão associados ao processo de cernificação. Durante a formação do cerne uma variedade de substâncias extrativas se acumulam no lúmen e na parede celular, resultando em um aumento de densidade (TAYLOR, 1973; ZOBEL, 1984), como apresentado por essas árvores de idade mais avançada.

Além da densidade da madeira, conhecer sobre a estabilidade dimensional de uma matéria-prima é essencial para o direcionamento do seu uso, em especial aqueles que não admitem empenos e rachaduras. A retratibilidade da madeira de *K. grandifoliola* proveniente de desbaste é baixa (GÉRARD et al., 2017) e os valores médios correspondentes às retrações radial, tangencial, longitudinal e volumétrica são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios da retratibilidade da madeira de *Khaya grandifoliola*, aos 10 anos de idade

Valores	Retratibilidade (%)				CA (T/R)
	β_r	β_t	β_l	β_v	
Média	3,71	6,06	0,38	10,15	1,63
CV (%)	20,63	15,00	21,13	12,61	-

Em que: $\beta_{r,t,l,v}$: retração radial, tangencial, longitudinal e volumétrica, respectivamente; CA: coeficiente anisotrópico.

Os coeficientes de retratibilidade encontrados no presente estudo estão em conformidade aos apresentados por Donkor (1997) e Gbaguidi Aisse, Zohoun e Kouchade (2008). Os autores avaliaram árvores da mesma espécie, contudo, em florestas naturais no continente africano, com resultados percentuais iguais a 3,50 e 3,80 para a retração radial, e 5,75 e 7,83 para a retração tangencial.

Kalendi et al. (2016) investigando árvores de *K. anthotheca*, na República Democrática do Congo, de densidade básica próxima à deste estudo ($0,47 \text{ g cm}^{-3}$), observaram também valores similares quanto às retrações volumétricas: 9,61 e 10,11%.

Para a madeira de *K. ivorensis*, aos 10 anos de idade e plantadas no Brasil, Carvalho; Silva e Latorraca (2010) e Campos (2020) obtiveram valores de retração volumétrica iguais a 16,85% e 13,00%, respectivamente. Ambos os valores são superiores ao encontrado neste trabalho (10,15%), o que pode estar relacionado à espécie e às maiores densidades por elas apresentadas. Madeiras mais densas, por apresentarem células de paredes mais espessas, tendem a absorver mais água por unidade de volume (OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO; FIEDLER, 2010), estando a maior retratibilidade associada à maior densidade da madeira (GLASS; ZELINKA, 2021).

Investigando *K. ivorensis* e *K. senegalensis*, de 19 anos de idade, França et al. (2015) encontraram percentuais de retração volumétrica da madeira de 9,18% e 8,98%, resultados ligeiramente inferiores aos percebidos neste trabalho. Os maiores resultados apresentados se devem provavelmente à maior proporção de lenho juvenil na madeira das árvores estudadas (10 anos).

Observa-se que os valores de retração tangencial foram superiores aos valores de retração radial e a retração longitudinal praticamente desprezível em relação às transversais, padrão normalmente observado na maioria dos estudos.

A relação entre as retrações tangencial e radial é, segundo Kollmann e Côté (1968), o parâmetro mais importante para a avaliação da estabilidade dimensional da madeira. Quanto maior essa relação, maior será a tendência da madeira ao empenamento e fendilhamento durante a secagem ou a variações de umidade (OLIVEIRA; SILVA, 2003). Quanto mais próximo esse valor estiver de 1, mais estável é a madeira (ARAÚJO; BALBONI; MOUTINHO, 2020).

A madeira de *K. grandifoliola* proveniente de desbaste, é classificada como de estabilidade dimensional mediana, com coeficiente anisotrópico igual a 1,63. Sendo indicada para usos que permitam pequenos empenamentos, como por exemplo: estantes, mesas e armários (DURLO; MARCHIORI, 1992; LOGSDON; PENNA, 2005). O

coeficiente anisotrópico apresentado está próximo ao encontrado por Campos (2020) para a madeira de *K. ivorensis*, também proveniente de desbaste aos 10 anos de idade.

Os valores das retrações transversais e volumétrica e do coeficiente anisotrópico da madeira de *K. grandifoliola*, proveniente de desbaste aos 10 anos de idade, estão ainda em conformidade com espécies tradicionalmente utilizadas na indústria madeireira e importadas comercialmente da América Tropical para os Estados Unidos (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação dos valores de retratibilidade da madeira de *K. grandifoliola* com outras espécies de madeira tradicionalmente utilizadas na indústria madeireira

Espécie	Retratibilidade (%)			CA
	β_r	β_t	β_v	
Mogno africano (<i>Khaya grandifoliola</i>)	3,7	6,1	9,8	1,65
Andiroba (<i>Carapa guianensis</i>)	3,1	7,6	10,4	2,45
Angelim (<i>Andira inermis</i>)	4,6	9,8	12,5	2,13
Ipê (<i>Tabebuia</i> spp.)	6,6	8,0	13,2	1,21
Mogno Brasileiro (<i>Swietenia macrophylla</i>)	3,0	4,1	7,8	1,36
Pau Marfim (<i>Balfourodendron riedelianum</i>)	4,6	8,8	13,4	1,91
Peroba Rosa (<i>Aspidosperma</i> spp.)	3,8	6,4	11,6	1,68
Sucupira (<i>Diptotropis purpurea</i>)	4,6	7,0	11,8	1,52

Fonte: Glass e Zelinka (2021), adaptado pela autora

4.2. Caracterização mecânica da madeira

Os valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *K. grandifoliola* estudada são apresentados na Tabela 3, sendo os coeficientes de variação satisfatórios para a caracterização do lote em questão. Quanto aos valores de flexão estática (MOR e MOE) e de compressão paralela, a madeira de desbaste avaliada é considerada como de baixa resistência (GÉRARD et al., 2017).

Campos (2020) estudando a madeira de *K. ivorensis* também proveniente de desbaste aos 10 anos de idade, apresentou 11,39 MPa para a resistência ao cisalhamento. Josue (2002) para a mesma espécie, aos 9 anos de idade no continente africano, encontrou valores médios iguais a: 71,11 MPa para MOR, 6873 MPa para MOE, 38,21 MPa para compressão paralela às fibras, 11,49 MPa para cisalhamento e 26,8 MPa para dureza Janka normal às fibras. Por se tratar de espécies do mesmo gênero e da mesma idade, com densidades equivalentes, os valores de resistência e rigidez das propriedades mecânicas da madeira se assemelham às apresentadas na Tabela 3, para a madeira de *K. grandifoliola*, exceto para dureza.

Tabela 3. Propriedades mecânicas da madeira de árvores de *Khaya grandifoliola*, provenientes de desbaste aos 10 anos de idade

Propriedades mecânicas		Média (MPa)	CV (%)
Flexão estática	MOR	70,92	16,32
	MOE	7.019,60	16,32
Compressão	Paralela	37,23	10,23
	Normal	13,43	13,68
Cisalhamento	-	10,20	18,72
Tração	Paralela	64,75	12,01
Fendilhamento	-	0,59	18,82
Dureza Janka	Paralela	58,35	18,35
	Normal	45,25	17,82

Avaliando a madeira de *K. ivorensis* e *K. senegalensis*, cultivadas no Brasil, aos 19 anos de idade, França et al. (2015) quantificaram valores médios de resistência e rigidez superiores aos apresentados para a madeira avaliada neste estudo. Essa diferença pode ser justificada pela maior idade daquelas árvores e, conseqüentemente, pela maior proporção de madeira adulta. Entretanto, apesar da diferença de idade e densidade entre elas, novamente a dureza da madeira de *K. grandifoliola* avaliada neste estudo foi superior à de *K. ivorensis*. Com base na dureza Janka, infere-se que apesar de se tratar de uma madeira de desbaste, com grande proporção de madeira juvenil, esta apresenta melhor resistência à penetração do que a madeira de *K. ivorensis*, quando submetida a uma tensão estática concentrada em uma pequena área (BUDAKÇI et al., 2016).

De modo geral, a resistência ao fendilhamento é uma propriedade pouco avaliada na literatura científica e para a madeira de *K. grandifoliola* avaliada foi igual a 0,59 MPa, superior ao encontrado por Vidaurre et al. 2017 avaliando *K. ivorensis*, aos 19 anos de idade.

O The Wood Database (2021) indica valores médios de resistência para o mogno africano (*Khaya* spp.) na ordem de: 91 MPa para MOR, 10600 MPa para MOE, 49 MPa para compressão paralela e 47,6 MPa para dureza Janka. Valores estes superiores aos observados neste trabalho, visto a maior densidade aparente da madeira ($0,64 \text{ g cm}^{-3}$) em relação à estudada ($0,56 \text{ g cm}^{-3}$), bem como as diferenças entre os ambientes de crescimento e a idade das árvores.

Fazendo um paralelo ao mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), os valores médios publicados pelo IPT (1989), também foram superiores aos encontrados neste trabalho: 90,6 MPa para MOR, 9110 MPa para MOE, 53,6 MPa para compressão paralela, 10,9 MPa para cisalhamento, 0,7 MPa para fendilhamento e dureza Janka

paralela de 49,4 MPa. Ressalta-se que os valores de resistência dos ensaios de cisalhamento, fendilhamento e dureza por ele publicados foram avaliados em condição verde. Com o aumento do teor de umidade da madeira, observa-se uma diminuição em sua resistência mecânica (SEGUNDINHO et al., 2021), justificando os valores mais próximos destas propriedades aos apresentados pela madeira de *K. grandifoliola* proveniente de desbaste, aos 10 anos de idade.

Apesar de não se enquadrar em nenhuma classe de resistência descrita pela NBR 7190 (ABNT, 1997), a madeira de *K. grandifoliola* se assemelha em valores de compressão paralela, tração paralela e cisalhamento com 3 espécies, de densidade superior, descritas no Anexo E da referida norma – cedro amargo (*Cedrella odorata*), cedro doce (*Cedrella spp*) e quarubarana (*Erismia uncinatum*) – o qual informa os valores médios usuais de resistência e rigidez de algumas madeiras nativas e de florestamento. Ressalta-se que o valor médio do módulo de elasticidade longitudinal (E_{c0}) de todas as espécies listadas é maior que o da madeira de *K. grandifoliola*, o que é justificável visto a idade de avaliação da madeira (10 anos) e a grande proporção de madeira juvenil no lenho. Sendo este, além da baixa densidade básica e aparente, o motivo do não enquadramento na C 20.

Considerando as propriedades discutidas da madeira de *K. grandifoliola* a espécie possui grande potencial de utilização no setor moveleiro, na produção de lâminas decorativas e compensados, na fabricação de artesanatos e utensílios domésticos, na construção civil leve interna e em usos que não exijam grandes resistências mecânicas. Outra possibilidade ainda seria a utilização dessa madeira na fabricação de produtos engenheirados, com ganhos em qualidade (estabilidade, densidade e resistência) e homogeneidade do material.

5. CONCLUSÕES

A madeira de *K. grandifoliola*, proveniente de desbaste aos 10 anos de idade, é classificada como de baixa densidade e não se enquadrou em nenhuma classe de resistência que permita o seu uso em elementos estruturais.

Apresentou uma baixa retração volumétrica e um coeficiente anisotrópico mediano, classificada assim como moderadamente estável dimensionalmente, o que permite seu uso no setor moveleiro e em objetos e ocasiões que não exijam grandes resistências mecânicas.

Uma alternativa de agregar valor a este material também seria utilizá-lo como madeira engenheirada, na forma de madeira lamelada colada (glulam) e/ou como painéis estruturais, por exemplo.

6. REFERÊNCIAS

- AMARASEKERA, H.; DENNE, M. Effects of crown size on wood characteristics of Corsican pine in relation to definitions of juvenile wood, crown formed wood and core wood. **Forestry**, v. 75, n. 1, p. 51-61, 2002.
- ARAÚJO, A. J. C.; BALBONI, B. M.; MOUTINHO, V. Physical and mechanical characterization of *Astronium lecointei* and *Manilkara huberi* branch wood. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 1-6, e20170468, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- BUDAKÇI, M.; PELIT, H.; SÖNMEZ, A.; KORKMAZ, M. The effects of densification and heat post-treatment on hardness and morphological properties of wood materials. **BioResources**, v. 11, n. 3, p. 7822-7838, 2016.
- CAMPOS, N. P. **Utilização da madeira de desbaste de *Khaya ivorensis* A. Chev para fabricação de painel colado lateralmente (EGP)**. 2020. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
- CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Cerne**, v. 16, p. 106-114, 2010.
- DONKOR, B. N. **Stem wood structure of four Ghanaian Khaya species**. 1997. 107f. Thesis (Master of Science in Forestry) – Lakehead University, Thunder Bay, 1997.
- DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série técnica, 10).
- FRANÇA, T. S. F. A.; ANDRADE, J. K. B.; FRANÇA, F. J. N.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B. Evaluation of shear strength and wood failure of two african mahogany species planted in Brazil. **Forest Products Journal**, v. 68, n. 4, p. 430-435, 2018.
- FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; BARAÚNA, E. E. P. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno-africano. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015.
- FRANÇA, T. S. F. A.; FRANÇA, F. J. N.; ARANGO, R. A.; WOODHARD, B. M.; ARANTES, M. D. C. Natural resistance of plantation grown African mahogany (*Khaya ivorensis* and *Khaya senegalensis*) from Brazil to wood-rot fungi and subterranean térmites. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 107, p. 88-91, 2016.
- GAVOR, E. S.; OPUNI-FRIMPONG, E.; FRIMPONG-MENSAH, K. **Static bending (modulus of rupture) and compressive strengths of plantation grown *Khaya grandifoliola* wood from two ecological zones in the high forest zone of Ghana**. s.d. Disponível em: <[http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2936/Technical/PD528-08Rev1\(F\)Technical-Paper-11-vs.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2936/Technical/PD528-08Rev1(F)Technical-Paper-11-vs.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2021.

GBAGUIDI AISSE, G.; ZOHOUN, S.; KOUCHADE, A. C. **Comparative study of the main technological characteristics of wood of two species of Beninese origin: *Khaya senegalensis* and *Khaya grandifoliola***. 2008. Disponível em: <<https://cyberleninka.ru/article/n/comparative-study-of-the-main-technological-characteristics-of-wood-of-two-species-of-beninese-origin-khaya-senegalensis-and-khaya>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

GÉRARD, J.; GUIBAL, D.; PARADIS, S.; CERRE, J. C. **Tropical Timber Atlas: technological characteristics and uses**. Versailles: Éditions Quæ. 2017. 1002p.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: Forest Products Laboratory. (Org.). **Wood handbook** - wood as an engineering material. Madison: Forest Products Laboratory, 2021. 543p. p. 95-116.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 1989. Disponível em: <https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=44>. Acesso em: 30 jul. 2021.

JOSUE, J. **Wood quality of *Xylia xylocarpa* and *Khaya ivorensis* planted in Sabah**. 2002. 25f. Thesis (Master of Science) – School of Graduate Studies, Universiti Putra Malaysia, Selangor, 2002.

KALENDI M. N.; SAFOU-TCHIAMA, R.; SOULOUNGOUNGA, P; MABICKA I. S. B.; NZUE O. J. L.; TASI M. J.P.; NDOUTOUME, C. Evaluation of anatomical and physical properties of *Khaya anthotheca* (WELW.) C. DC. from forests of different altitudes in the Democratic Republic of Congo. **Journal of Research in Forestry, Wildlife & Environment**, v. 8, n. 4, p. 116-125, 2016.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology: solid wood**. Vol. 1. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1968. 592p.

LOGSDON, N. B.; PENNA, J. E. Análise comparativa entre os coeficientes de anisotropia dimensional da madeira, no inchamento e na retração. **Agricultura Tropical**, v.8, n.1, p. 9-20, 2004.

MARIANO, R. R. **Características químicas e físicas de mogno africano (*Khaya ivorensis*)**. 2017. 38f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

MARQUES, M. H. B.; MELO, J. E.; MARTINS, V. A. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. Brasília: IBAMA, 1997. 141p.

MEDEIROS NETO, P. N.; PAES, J. B.; SILVA, J. G. M. Efeito do teor de umidade na determinação do módulo de elasticidade da madeira por técnica não destrutiva. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p. 917-924, 2016.

MOHD-JAMIL, A. W.; KHAIRUL, M. Variations of mechanical properties in plantation timbers of jelutong (*Dyera costulata*) and khaya (*Khaya ivorensis*) along the radial and vertical positions. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 29, n. 1, p. 114-120, 2017.

MORAES, M. D. A. **Qualidade e potencial energético da madeira de desbaste de mogno africano**. 2017. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

MORAES, M. D. A.; SILVA, M. F.; BARBOSA, P. V. G.; MARQUES, R.; SILVA, R. T.; SETTE JUNIOR, C. R. Characterization of *Khaya ivorensis* (A. Chev) biomass, charcoal and briquetes. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 34-44, 2019.

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

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

OLIVEIRA, R. A.; BATISTELA, G. C.; SIMÕES, D.; PADOVANI, C. R. Aplicação de modelos lineares de efeitos mistos para avaliar a densidade básica da madeira de duas espécies e um híbrido de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129), e3201, 2021.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; OLIVEIRA, H. B. Usos, importância econômica e perspectivas de mercado. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Org.). **Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2019. p. 50-73.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SANTOS, L. H. O.; ALEXANDRE, F. S.; MENDOZA, Z. M. S. H.; SOUZA, E. C.; BORGES, P. H. M.; MARIANO, R. R.; DIAZ, L. M. G. R.; NUNES, C. A. Características químicas e físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 361-366, 2020.

SANWO, S. The characteristics of the crown-formed and stem-formed wood in plantation grown teak (*Tectona grandis* L.f) in Nigeria. **Journal of Institute of Wood Science**, v. 11, n. 2, p. 85-88, 1987.

SEGUNDINHO, P. G. A.; OLIVEIRA, R. G. E.; GONÇALVES, F. G.; LOPES, N. F.; ALVES, R. C.; AZEVEDO, M. S. Avaliação da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para utilização em madeira lamelada colada. **Revista Matéria**, v. 26, n. 3, e13030, 2021.

SETTE JR, 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**, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; ARANTES, M. D. C.; BATISTA, D. C.; SORANSO, D. R.; BILLO, D. F. Qualidade da madeira de mogno africano para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 181-190, 2016.

SIQUEIRA, G. L. **Variação radial das propriedades físicas e mecânicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2015. 36f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

SORANSO, D. R.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA, J. G. M.; ARANTES, M. D. C. Variabilidade física e anatômica da madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev. em diferentes espaçamentos de plantio. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 519-26, 2016.

SORANSO, D. R.; VIDAURRE, G. B.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. G. M.; LATORRACA, J. V. F. Radial growth dynamics of *Khaya ivorensis* trees from experimental plantation. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, e420207, 2018.

STEVENS, T. P. B. **Efeito da variação radial em determinadas propriedades da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis*)**. 2017. 36f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

TAYLOR, F. W. Anatomical wood properties of south african grown *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, v. 84, n. 1, p. 20-24, 1973.

THE WOOD DATA BASE. **African mahogany**. 2021. Disponível em: <https://www.wood-database.com/african-mahogany/#google_vignette>. Acesso em: 30 jul. 2021.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **IPEF**, n.36, p.35-42, 1987.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. 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.; SILVA, J. G. M.; CASTRO, M.; COELHO, J. C. F.; BRITO, A. S.; MOULIN, J. C. Relação da grã com algumas variáveis do crescimento e propriedades da madeira de *Khaya ivorensis*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 249-259, 2017.

ZOBEL, B. J. The changing quality of world wood supply. **Wood Science and Technology**, v. 18, p. 1-17, 1984.

CAPÍTULO II

RESISTÊNCIA DE JUNTAS COLADAS DA MADEIRA DE *Khaya grandifoliola* COM DIFERENTES ADESIVOS E FACES DE COLAGEM

Resumo: Tendo em vista a importância de conhecer a qualidade de colagem em madeiras de uso já consagrado e em novas espécies com potencial de utilização na indústria madeireira, seja em produtos de uso estrutural e/ou não estrutural, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de juntas coladas da madeira de árvores de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) provenientes de desbaste, em diferentes faces de colagem, utilizando quatro adesivos: PVA, melamina-ureia-formaldeído, resorcinol-formaldeído e ureia-formaldeído. Foram coladas 16 peças com faces radiais, 16 peças com faces tangenciais e 16 peças com faces tangencial e radial, totalizando 24 juntas coladas para os 4 adesivos. Para a colagem foi utilizada gramatura de 300 g m⁻² (superfície dupla), tempo de prensagem de 24 horas e pressão específica de 1 MPa, em prensa hidráulica à temperatura ambiente. A resistência das juntas coladas foi avaliada por meio do ensaio de cisalhamento por compressão e pela percentagem da falha na madeira. As juntas coladas de faces tangencial/tangencial e tangencial/radial apresentaram as melhores médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola, independente do adesivo utilizado. O maior percentual de falha na madeira apresentado correspondeu às juntas coladas nas faces radiais e intermediárias (tangencial/radial). Quanto ao adesivo, o melamina-ureia-formaldeído proporcionou a melhor qualidade de adesão madeira-adesivo, não diferindo estatisticamente do resorcinol-formaldeído. Os resultados obtidos demonstram o potencial de uso da madeira de árvores de mogno africano provenientes de desbaste para a confecção de produtos colados.

Palavras-chave: mogno africano; cisalhamento; formaldeído; radial; tangencial.

CHAPTER II

STRENGTH OF GLUED JOINTS OF WOOD FROM *Khaya grandifoliola* WITH DIFFERENT ADHESIVES AND GLUE FACES

Abstract: Bearing in mind the importance of knowing the collage quality in wood already used and in new species with potential for use in the wood industry, whether in structural and/or non-structural use products, this study aimed to evaluate the quality of glued joints of wood of african mahogany trees (*Khaya grandifoliola*) from thinning, on different glueing faces, using four adhesives: PVA, melamine-urea-formaldehyde, resorcinol-formaldehyde and urea-formaldehyde. 16 pieces with radial faces, 16 pieces with tangential faces and 16 pieces with tangential and radial faces were glued, totaling 24 glued joints for the 4 adhesives. Were glued, a weight of 300 g m⁻² (double surface) was used, pressing time of 24 hours and specific pressure of 1 MPa, in a hydraulic press at room temperature. The strength of the glued joints was evaluated by means of the compression shear test and the percentage of failure in the wood. The glued joints with tangential/tangential and tangential/radial faces showed the best averages of shear strength in the glue line, regardless of the adhesive used. The highest percentage of failure in the wood presented corresponded to the glued joints on the radial and intermediate faces (tangential/radial). As for the adhesive, melamine-urea-formaldehyde provided the best adhesion quality of wood-adhesive, not differing statistically from resorcinol-formaldehyde. The results obtained demonstrate the potential use of wood from african mahogany trees from thinning for the manufacture of glued products.

Keywords: african mahogany; shear; formaldehyde; radial; tangential.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil atingiu a marca de 9 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo a maioria desse total representada pelo cultivo de eucalipto, seguido de pinus e outras espécies (IBÁ, 2020), dentre elas, o mogno africano. Os plantios de espécies do gênero *Khaya* têm aumentado nos últimos anos no país, por um conjunto de circunstâncias, tais como: aumento da procura por madeiras nobres tropicais, escassez do produto no mercado, expressivo valor comercial da cultura, além de ser uma alternativa para minimizar as pressões de extração exercidas nas florestas naturais (AQUINO et al., 2018).

Conhecida por sua apreciável qualidade, a madeira de mogno africano é utilizada principalmente para a fabricação de móveis, pisos, instrumentos musicais, decoração de ambientes internos e externos e para a construção naval (SILVA et al., 2016). Contudo, no Brasil, o ciclo de corte desses plantios é definido entre 15 a 20 anos, com desbastes ao longo do tempo. Já é conhecido que a madeira de desbaste não apresenta as mesmas características tecnológicas da madeira adulta em razão da maior proporção de lenho juvenil, sendo ainda de menor dimensão e de menor valor de mercado (VIDAURRE et al., 2011; PAES et al., 2015).

A tecnologia da colagem seria, portanto, uma alternativa de aplicação e também uma maneira de agregar valor à madeira de desbaste oriunda dos crescentes reflorestamentos de mogno africano no Brasil. Por meio da colagem é possível obter produtos reconstituídos de madeira com maiores dimensões, maior estabilidade dimensional e melhor distribuição da resistência mecânica, ganhando em qualidade numa melhor relação custo-benefício (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JÚNIOR, 2005).

De acordo Gonçalves et al. (2016), a utilização adequada dos produtos gerados à base de madeira colada é regida pelo mecanismo de adesão, sendo este dependente da composição e das características da madeira, das características físico-químicas do adesivo, dos procedimentos empregados na colagem e das condições de uso do produto colado.

Campos (2020) avaliou a resistência da colagem e o acabamento da madeira de desbaste de *Khaya ivorensis* utilizando diferentes adesivos, pressões de montagem e preparações da superfície. Mediante os ensaios realizados, a autora concluiu que é possível produzir painéis colados lateralmente (EGP) de qualidade satisfatória a partir de mogno africano com 10 anos de idade.

Tendo em vista a importância de se conhecer a qualidade da colagem em madeiras de uso já consagrado e em novas espécies com potencial para serem utilizadas na

indústria madeireira, seja em produtos de uso estrutural e/ou não estrutural, este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência de juntas coladas da madeira de árvores de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) provenientes de desbaste, em diferentes faces de colagem, utilizando quatro adesivos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Origem da madeira e dos adesivos

Utilizou-se neste trabalho a madeira de árvores de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) com 10 anos de idade, provenientes de desbaste em um reflorestamento localizado na cidade de Pirapora - MG. As toras, obtidas da porção central de 5 árvores, foram desdobradas em cortes radial e tangencial, e secas ao ar até o teor de umidade médio de 15%. Das tábuas, foram confeccionadas 24 peças radiais e 24 peças tangenciais com dimensões de 19 x 63,5 x 304 mm.

O plano experimental consistiu em 3 faces de colagem: radial/radial (RR), tangencial/tangencial (T/T) e tangencial/radial (TR), utilizando 4 adesivos: acetato de polivinila (PVA), melamina-ureia-formaldeído (MUF), resorcinol-formaldeído (RF) e ureia-formaldeído (UF) (Tabela 1). Os adesivos utilizados foram adquiridos no comércio e ou ainda estavam disponíveis no Laboratório de Painéis e no Laboratório de Estruturas de Madeira do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo.

Tabela 1. Delineamento experimental aplicado visando estudar o efeito do adesivo em diferentes faces de colagem da madeira de *Khaya grandifoliola*

Tratamento	Face de colagem	Adesivo
1	RR	PVA
2	TT	
3	TR	
4	RR	MUF
5	TT	
6	TR	
7	RR	RF
8	TT	
9	TR	
10	RR	UF
11	TT	
12	TR	

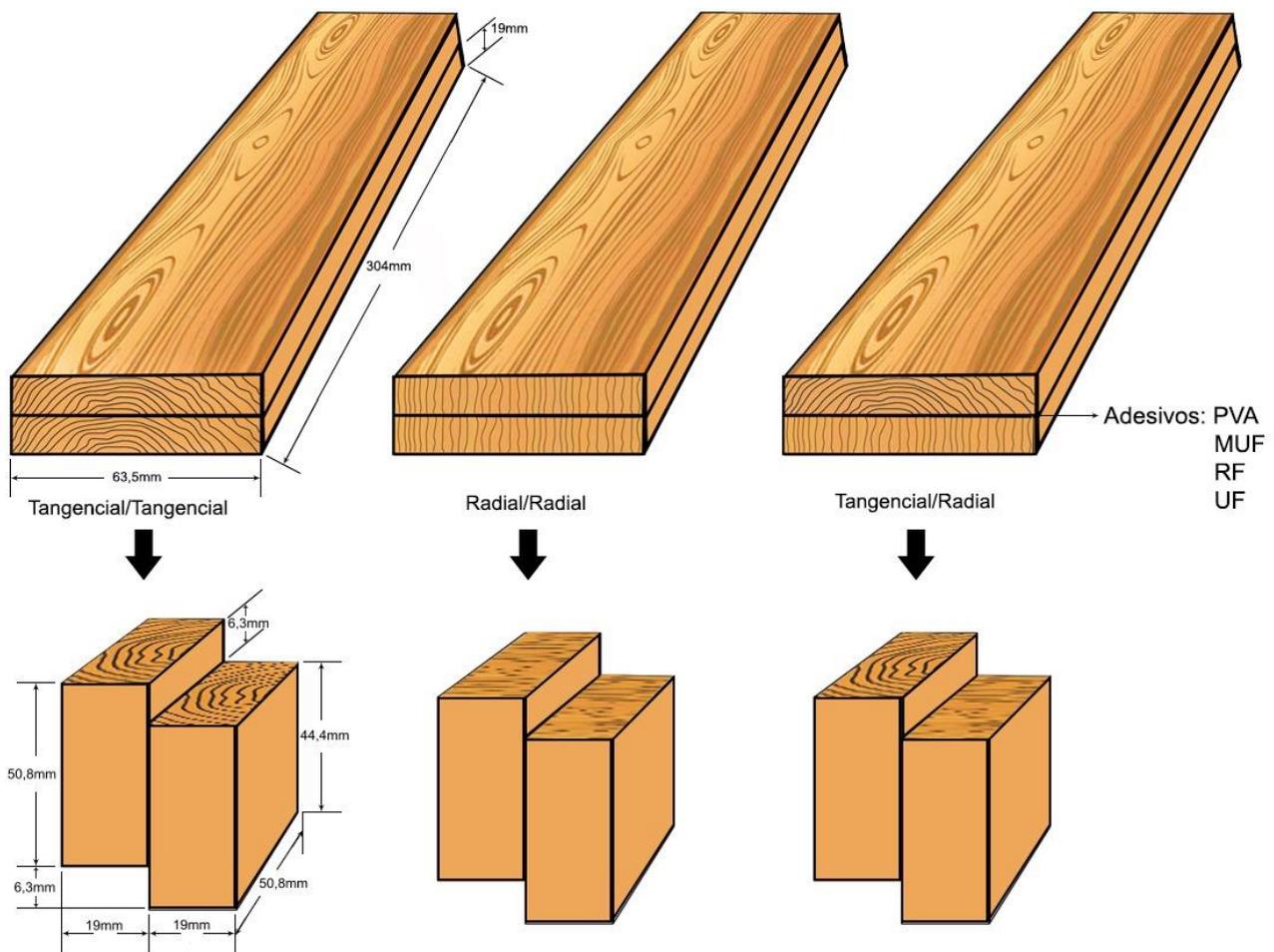
Em que: RR: radial/radial, T/T: tangencial/tangencial, T/R: tangencial/radial; PVA: acetato de polivinila, MUF: melamina-ureia-formaldeído, RF: resorcinol-formaldeído, UF: ureia-formaldeído.

2.2 Colagem da madeira

Para a aplicação dos adesivos melamina-ureia-formaldeído e resorcinol-formaldeído foram utilizadas 5 partes de adesivo para 1 parte de catalisador. A preparação da ureia-formaldeído seguiu a proporção de 100 partes de adesivo, 20 partes de farinha de trigo empregada como extensor, 20 partes de água e 7 partes de catalisador, de acordo Boa et al. (2014). Foi ainda adicionado o corante anilina rosa ao PVA, anilina verde à MUF e anilina azul à UF, para possibilitar a visualização e contagem da percentagem de falha na madeira.

Foram coladas 16 peças com faces radiais, 16 peças com faces tangenciais e 16 peças com faces tangenciais e radiais, totalizando 24 juntas coladas. Para a colagem foi utilizada gramatura de 300 g m^{-2} (superfície dupla), tempo de prensagem de 24 horas e pressão específica de 1 MPa, em prensa hidráulica de 15 toneladas à temperatura ambiente (Figura 1).

Figura 1. Ilustração das juntas coladas da madeira de *Khaya grandifoliola* nas diferentes faces e representação dos respectivos corpos de prova para o ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola



Fonte: a autora.

Após a colagem e acondicionamento (25 ± 2 °C de temperatura e $65 \pm 2\%$ de umidade relativa) das juntas coladas, foram confeccionados os corpos de prova para o ensaio de cisalhamento na linha de cola e avaliação da resistência das juntas coladas (Figura 1). Foram testados 10 corpos de prova por tratamento, com base nos procedimentos descritos na norma D905-08 (ASTM, 2021), em uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas. Os valores de resistência ao cisalhamento foram corrigidos conforme a D5751-99 (ASTM, 2019).

A percentagem de falha na madeira foi determinada mediante uso de uma malha reticulada impressa em folha transparente, de acordo com as prescrições da normativa D5266-13 (ASTM, 2020).

Anteriormente à colagem, realizou-se a caracterização da madeira e dos adesivos com 5 repetições por propriedade (Quadro 1).

Quadro 1. Propriedades avaliadas da madeira e do adesivo com as suas respectivas normativas

Material	Propriedade	Normativa
Madeira	Densidade aparente	NBR 7190 (ABNT, 1997)
	Teor de extrativos totais	T204 om-88 (TAPPI, 1996)
	Teor de cinzas	NBR 8112 (ABNT, 1983)
	pH	ALMEIDA (2009)
Adesivo	pH	ALMEIDA (2009)
	Viscosidade	D1084-16 (ASTM, 2021)
	Teor de sólidos	BRITO (1995)

2.3 Análise estatística dos dados

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial (3×4) cujos fatores foram: faces de colagem (RR, TT, TR) e tipos de adesivo (PVA, MF, RF e UF), totalizando 12 tratamentos com 10 repetições cada. Os dados foram avaliados quanto às pressuposições de variância comum (homocedasticidade) e normalidade dos erros experimentais por meio dos testes de Cochran e Shapiro-Wilk, em ordem. Sempre que a análise de variância detectou diferença significativa ($p < 0,05$) na interação dos fatores e/ou entre os fatores foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias ($p < 0,05$). As análises foram realizadas a partir do software *SigmaPlot 13.0*. Os dados de resistência ao cisalhamento das juntas coladas e da percentagem de falha na madeira foram anteriormente transformados em \log_x e em $\arcsen\sqrt{(x/100)}$, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade aparente média da madeira de mogno africano estudada correspondeu a 550 kg m^{-3} , classificada conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997) como uma madeira de baixa densidade ($\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg m}^{-3}$). Menores densidades favorecem o processo de adesão em razão da maior porosidade da madeira, o que facilita a penetração e o ancoramento mecânico do adesivo na estrutura lenhosa (FRIHART; HUNT, 2010).

Boa et al. (2014) ao avaliarem o comportamento de juntas coladas de resíduos madeireiros de eucalipto, separados em duas classes de densidade ($\leq 0,65 \text{ g cm}^{-3}$ e $> 0,65 \text{ g cm}^{-3}$), observaram que as madeiras com densidade igual ou inferior a $0,65 \text{ g cm}^{-3}$ obtiveram maior qualidade da junta colada quando comparadas àquelas formadas por madeiras com densidade superior.

Além da densidade, a constituição química da madeira também exerce influência direta na qualidade da colagem e está associada principalmente, à concentração de extrativos na superfície a ser colada, ao teor de cinzas e ao pH da madeira, influenciando desde o tempo de cura do adesivo até a resistência da junta colada (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JÚNIOR, 2005; FRIHART; HUNT, 2010). Os teores de extrativos e cinzas médios da madeira de mogno africano foram, respectivamente, 6,16% e 0,81%.

Santos et al. (2020) avaliando as características químicas da madeira de *Khaya ivorensis*, aos 10 anos de idade, obtiveram um valor médio igual a 6,35% de extrativos na mesma sequência extratora utilizada neste trabalho: etanol/ tolueno.

Moraes et al. (2019) estudando a madeira de *Khaya ivorensis*, aos 7 anos de idade, encontram valor médio de teor de cinzas igual a 1,05%, superior ao encontrado neste trabalho para *Khaya grandifoliola*.

O pH médio da madeira de mogno africano foi igual a 6,26, dentro da faixa esperada para a maioria das espécies (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JÚNIOR, 2005).

Além das características da madeira, a qualidade da adesão também pode ser influenciada pelo tipo de adesivo utilizado no processo. Na Tabela 3 são apresentados os valores médios das propriedades dos quatro adesivos avaliados.

Os adesivos, de maneira geral, apresentam propriedades bem distintas. O resorcinol-formaldeído e a ureia-formaldeído são os que mais se assemelham quanto aos valores de pH, viscosidade e teor de sólidos.

Tabela 3. Valores médios das propriedades reológicas dos adesivos utilizados

Adesivo	Propriedades		
	pH	Viscosidade (mPa)	Teor de sólidos (%)
PVA	4,00	17458	43,88
MUF	9,05	11690	63,97
RF	7,25	508	62,52
UF	7,80	422	66,18

Em que: PVA: acetato de polivinila, MUF: melamina-ureia-formaldeído, RF: resorcinol-formaldeído, UF: ureia-formaldeído.

Dos adesivos utilizados, o PVA é tido como ácido e os demais como alcalinos estando todos dentro da faixa estabelecida por Albuquerque; Iwakiri; Keinert Júnior (2005): 2,5 a 11. Segundo os mesmos autores, ultrapassado este limite pode ocorrer a degradação das fibras da madeira.

Quanto à viscosidade, a ureia-formaldeído foi o adesivo menos viscoso, seguido do resorcinol-formaldeído. O PVA foi o adesivo avaliado de maior viscosidade, o que provavelmente ocasionará uma ligação insuficiente no sistema madeira-adesivo, uma vez que a elevada viscosidade pode dificultar o espalhamento do adesivo e diminuir sua penetração na madeira.

A melamina-ureia-formaldeído, o resorcinol-formaldeído e a ureia-formaldeído apresentaram valores de teor de sólidos semelhantes. O PVA foi o adesivo de menor valor médio para esta propriedade (43,88%), mas em conformidade ao resultado encontrado por Gonçalves et al. (2016). É importante que o teor de sólidos e a quantidade de água dos adesivos apresentem certo equilíbrio. De acordo com Bandel (1991), percentagem reduzida de sólidos pode retardar a formação da película na linha de cola, por consequência do maior tempo necessário para a evaporação da água do sistema.

Pela análise fatorial, verificou-se interação significativa ($p < 0,05$) entre a face de colagem e o tipo de adesivo para a resistência ao cisalhamento na linha de cola. O desdobramento das médias em função de cada um dos fatores pode ser observado na Tabela 4.

A maior média absoluta (16,39 MPa) verificada para a resistência ao cisalhamento na linha de cola refere-se à junta colada com o adesivo resorcinol-formaldeído, nas faces tangencial/radial, não se diferenciando estatisticamente da resistência apresentada pelas juntas de faces de colagem tangenciais do mesmo adesivo.

Tabela 4. Valores médios de resistência ao cisalhamento (MPa) na linha de cola conforme a interação entre a face de colagem e o tipo de adesivo

Fases de colagem	Resistência ao cisalhamento (MPa)			
	Adesivos			
	PVA	MUF	RF	UF
Radial/Radial	12,49 bA	12,85 bA	10,32 bB	12,34 aA
Tangencial/Tangencial	15,32 aA	16,36 aA	15,40 aA	13,37 aB
Tangencial/Radial	14,11 abB	14,33 bAB	16,39 aA	12,31 aC

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$). Em que: PVA: acetato de polivinila, MUF: melamina-ureia-formaldeído, RF: resorcinol-formaldeído, UF: ureia-formaldeído.

A segunda maior média absoluta (16,36 MPa) de resistência ao cisalhamento na linha de cola foi observada para o adesivo melamina-ureia-formaldeído com a colagem de juntas de faces tangenciais, a qual diferiu-se estatisticamente das demais médias correspondentes às outras faces de colagem utilizando o mesmo adesivo.

O adesivo PVA também apresentou a melhor resistência ao cisalhamento com a colagem de juntas de faces tangenciais, mas esta não se diferiu estatisticamente das juntas coladas nas faces tangencial/radial ($p \geq 0,05$). Para a ureia-formaldeído, a resistência ao cisalhamento na linha de cola não apresentou diferença estatística entre as diferentes faces de colagem ($p \geq 0,05$).

A superioridade dos valores médios de resistência ao cisalhamento na linha de cola das juntas coladas nas faces tangenciais e tangencial/radial em relação às faces radiais pode ser atribuída à exposição do parênquima radial na face de colagem tangencial, o que contribui para a melhor penetração do adesivo na estrutura porosa da madeira e, conseqüentemente, na formação de “ganchos” ou pontos de “ancoragem” entre as peças coladas (IWAKIRI et al., 2013).

Iwakiri et al. (2013) avaliando a madeira de *Eucalyptus benthamii*; França et al. (2020) a madeira de *Eucalyptus* sp. e Silva et al. (2020) as madeiras de *Vatairea* sp., *Paulownia* sp., *Aspidosperma populifolium* e *Tectona grandis*, também obtiveram melhores médias de resistência ao cisalhamento nas faces tangenciais e intermediárias (tangencial/radial) quando comparadas às radiais, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho. Ressalta-se, ainda, que os resultados demonstrados na Tabela 4 são superiores aos encontrados pelos autores acima citados para a maioria dos tratamentos avaliados.

Campos (2020) estudando a resistência ao cisalhamento da madeira de *Khaya ivorensis* colada com PVA, também proveniente de desbaste aos 10 anos de idade, encontrou valores médios entre 12,74 e 15,54 MPa. Os resultados encontrados neste trabalho (Tabela 4) estão em conformidade com os apresentados pela autora.

França et al. (2018) estudando a resistência ao cisalhamento na linha de cola da madeira de duas espécies de mogno africano (*K. ivorensis* e *K. senegalensis*), aos 19 anos de idade, observaram o maior valor médio (11,9 Mpa) para o adesivo PVA, seguido do MUF (8,6 MPa) e, por fim, da UF (5,8 MPa). Os resultados apresentados neste trabalho (Tabela 4) são superiores aos encontrados por França e colaboradores para todos os adesivos utilizados.

Os maiores valores de resistência na linha de cola apresentados pelas madeiras de árvores provenientes de desbaste em relação à madeira de idade mais avançada pode estar relacionada às características anatômicas do lenho. Provavelmente, nas árvores de 19 anos de idade, as substâncias presentes nos vasos da madeira encontravam-se em estágio mais avançado de impregnação, o que dificultou a penetração dos adesivos, diminuindo a qualidade de colagem (MOTTA et al. 2014).

Tratando-se de espécies do mesmo gênero, os resultados atestam mais uma vez a apreciável qualidade de colagem de árvores provenientes de desbaste e ressalta-se ainda, a importância de estudos referentes à qualidade da madeira dessas árvores, por vezes depreciada em relação àquelas coletadas em idades mais avançadas e/ou no final do ciclo de corte.

Pela análise de comportamento da resistência ao cisalhamento na linha de cola em função das faces, observou-se que para a colagem de peças radiais da madeira de mogno africano, os adesivos PVA, melamina-ureia-formaldeído e ureia-formaldeído apresentaram, estatisticamente, desempenho semelhante. Em contrapartida, o adesivo resorcinol-formaldeído apresentou a menor média de resistência ao cisalhamento tratando-se da colagem de peças radiais.

Quanto à colagem de peças tangenciais, o menor valor de resistência ao cisalhamento observado corresponde às juntas coladas com o adesivo ureia-formaldeído. O PVA, a melamina-ureia-formaldeído e o resorcinol-formaldeído não diferiram estatisticamente ($p \geq 0,05$) levando-se em consideração a resistência ao cisalhamento de peças coladas nesta mesma direção.

Na face de colagem intermediária (tangencial/radial) a maior resistência ao cisalhamento na linha de cola foi observada quando as peças foram unidas pelo adesivo resorcinol-formaldeído, não diferindo estatisticamente ($p \geq 0,05$) dos resultados

apresentados pelo adesivo melamina-ureia-formaldeído. Adesivos de caráter estrutural tendem a apresentar maiores valores de resistência, proporcionada pela forte ligação coesiva de suas moléculas e pela forte adesão às hidroxilas livres presentes na madeira (FANECO, 2014). Assim como na colagem das peças tangenciais, o adesivo ureia-formaldeído foi o que apresentou menor valor médio de resistência ao cisalhamento na união de peças intermediárias.

Armstrong et al. (2007) determinaram a resistência ao cisalhamento na linha de cola na madeira de árvores australianas selecionadas de *Khaya senegalensis*, com 32 anos de idade, coladas com UF e obtiveram um valor médio igual a 16,9 MPa, superior aos encontrados neste estudo.

Motta et al. (2014) ao avaliarem a resistência ao cisalhamento na linha de cola da madeira de teca (*Tectona grandis*) com diferentes adesivos, também observaram que as juntas coladas com ureia-formaldeído obtiveram resultados inferiores quando comparados ao PVA e ao resorcinol-formaldeído.

Gonçalves et al. (2019) ao estudarem a resistência na linha de cola com o uso de dois adesivos (resorcinol-formaldeído e melamina-ureia-formaldeído) em madeira de *Paulownia tomentosa* (kiri japonês), certificaram que não houve diferenças significativas entre os dois tipos de adesivo quanto à resistência ao cisalhamento para colagem em faces intermediárias.

Os melhores valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola observados neste trabalho correspondem às juntas coladas com os adesivos estruturais: melamina-ureia-formaldeído e resorcinol-formaldeído. O MUF possui coloração branco leitosa, propiciando uma linha de cola transparente, característica importante a ser avaliada quando o material colado é destinado a fins estéticos (GONÇALVES et al., 2019), além de ser um adesivo resistente à umidade. O RF por sua vez, tem coloração marrom-avermelhada e apresenta um elevado custo de aquisição, por ser importado. Segundo Lima (1994), o preço desse adesivo pode representar entre 40 a 60% do custo final de elementos estruturais em madeira laminada colada. Os adesivos são, portanto, componentes importantes e com implicações tecnoeconômicas na utilização dos produtos à base de madeira (CARNEIRO et al., 2004).

A resistência ao cisalhamento das juntas coladas (Tabela 4), em todas as faces de colagem e para todos os adesivos utilizados, foi superior à resistência ao cisalhamento da madeira sólida de mogno africano, previamente obtida no Capítulo I, cuja média foi igual a 10,15 MPa. Segundo Vital; Maciel e Della Lucia (2006), quando as forças atrativas promovidas pela ação do adesivo entre dois substratos atuam adequadamente, podem

gerar uma resistência superior às forças coesivas dos próprios substratos. Este resultado é um indicativo da boa qualidade de colagem da madeira de árvores de mogno africano provenientes de desbaste.

Os percentuais de falha na madeira são apresentados na Tabela 5 e, pela análise fatorial, não houve interação significativa entre as faces de colagem e os tipos de adesivo ($p \geq 0,05$). Portanto, foram avaliados separadamente.

Tabela 5. Efeito da face de colagem e do tipo de adesivo na percentagem de falha na madeira (%).

Faces de colagem	Falha na madeira (%)	Adesivos	Falha na madeira (%)
Radial/Radial	74,15 a	PVA	27,77 c
Tangencial/Tangencial	52,08 b	MUF	82,37 a
Tangencial/Radial	65,05 a	RF	77,57 ab
		UF	67,33 b

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente (Tukey, $p \geq 0,05$). Em que: PVA: acetato de polivinila, MUF: melamina-ureia-formaldeído, RF: resorcinol-formaldeído, UF: ureia-formaldeído.

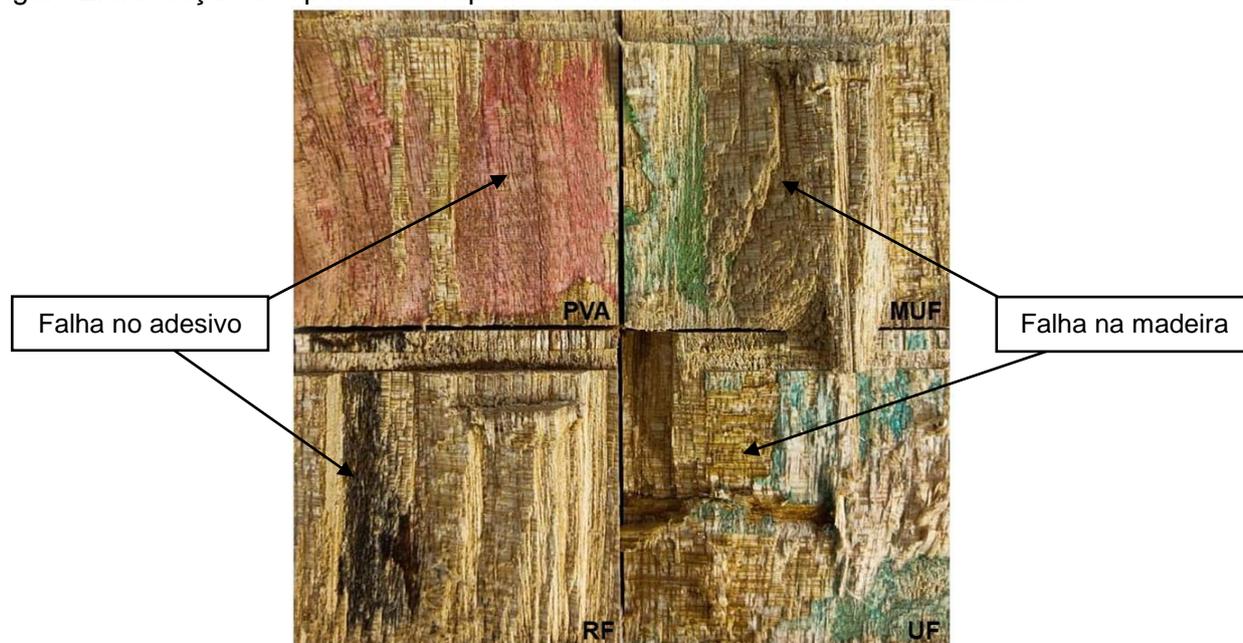
A maior média de percentagem de falha na madeira foi observada na colagem de juntas radiais (74,15%), seguida da colagem de juntas intermediárias (tangencial/radial), que não diferiu estatisticamente da primeira. A colagem de faces tangenciais apresentou a menor percentagem de falha na madeira. Este mesmo comportamento foi observado por Iwakiri et al. (2013) avaliando a qualidade de juntas coladas de madeira de *Eucalyptus benthamii*.

O elevado percentual de falha na madeira é indicativo de uma satisfatória qualidade de adesão, consequência de uma boa penetrabilidade do adesivo na estrutura anatômica.

Quanto aos adesivos, a melamina-ureia-formaldeído foi o que apresentou a melhor média (82,37%) para a percentagem de falha na madeira e o PVA a menor média (22,77%) de todos os adesivos utilizados (Figura 2).

O baixo percentual de falha na madeira observado nas juntas coladas com PVA neste trabalho, pode ser justificada pela sua alta viscosidade e baixo teor de sólidos quando comparado aos demais adesivos avaliados (Tabela 3). Esse teor pode ser entendido, segundo Bianche et al. (2017), como a quantidade de sólidos do adesivo que forma a linha de cola. Baixos teores, como foi o caso do PVA, favorecem a menor resistência. A elevada viscosidade também contribuiu para a ligação insuficiente do sistema madeira-adesivo, já que compromete a penetração do adesivo na madeira e pode gerar uma linha de cola espessa.

Figura 2. Ilustração dos pontos de ruptura na madeira e nos adesivos utilizados



Fonte: a autora.

Bila et al. (2016) avaliando a qualidade de juntas, coladas com PVA, de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia (*Protium puncticulatum*, *Eschweilera coriacea*, *Manilkara amazonica*, *Inga paraenses*, *Eschweilera odora* e *Byrsonima crispera*) obtiveram percentual de falha na madeira igual 0% para todas elas, ou seja, nenhuma fibra foi arrancada nas faces coladas dos corpos de prova. Este mesmo resultado foi observado por Souza et al. (2020) estudando a madeira de *Cordia oncocalyx*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Mimosa caesalpinifolia*.

Diferentemente dos estudos acima citados, França et al. (2018) quantificaram a maior percentagem de falha na madeira de *Khaya ivorensis* colada com PVA (85%), seguida de MUF (80%) e UF (29,3%). Para *Khaya senegalensis*, o maior percentual de falha foi observado na madeira colada com MUF (69%), logo depois PVA (55%) e UF (18,3%). Os autores atribuem as diferenças percentuais observadas entre as duas espécies à maior densidade e aos menores diâmetros de vasos percebidos em *Khaya senegalensis*.

Campos (2020) estimando a percentagem de falha na madeira de *Khaya ivorensis* colada com PVA também obteve valores expressivos, entre 71,5% e 89,5%.

Os baixos percentuais de falha nas juntas de madeira coladas com PVA apresentados neste trabalho (Tabela 5), frente aos resultados encontrados pelos autores acima citados, podem estar relacionados à elevada viscosidade do adesivo utilizado

(17458 mPa). França et al. (2018) e Campos (2020) obtiveram valores médios de viscosidade para o PVA próximos a 4000 mPa, o que favoreceu a qualidade de colagem.

As normas D2559-12a (ASTM, 2018) e D5751-99 (ASTM, 2019) fornecem as especificações exigidas para componentes colados quanto à percentagem de falha na madeira para o uso estrutural e não estrutural iguais a: 75% e 60%, respectivamente. A colagem de peças radiais e intermediárias (tangencial/radial) da madeira de mogno africano proveniente de árvores de desbaste, com os adesivos MUF, RF e UF, atende à exigência percentual mínima de pelo menos uma das normativas acima citadas.

4. CONCLUSÕES

As juntas coladas de faces tangencial/tangencial e tangencial/radial apresentaram as melhores médias de resistência ao cisalhamento na linha de cola, independente do adesivo utilizado.

O maior percentual de falha na madeira apresentado correspondeu às juntas coladas nas faces radiais, as quais não diferiram estatisticamente das juntas intermediárias (tangencial/radial).

O adesivo melamina-ureia-formaldeído proporcionou a melhor qualidade de adesão no sistema madeira-adesivo, equilibrando resistência ao cisalhamento na linha de cola e percentagem de falha na madeira.

Os resultados obtidos demonstram o potencial de uso da madeira de árvores de mogno africano provenientes de desbaste para a confecção de produtos colados.

5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesivos e adesão. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, p.13-42.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído e dos compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum***. 2009, 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D5266-13**: Standard practice for estimating the percentage of wood failure in adhesive bonded joints. West Conshohocken, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D5751-99**: Standard specification for adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. West Conshohocken, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D2559-12a**: Standard specification for adhesives for bonded structural wood products for use under exterior exposure conditions. West Conshohocken, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D905-08**: Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. West Conshohocken, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D1084-16**: Standard test methods for viscosity of adhesives. West Conshohocken, 2021.

AQUINO, S. M.; PINHEIRO, A. L.; AQUINO JR, H. M.; AQUINO, W. M.; BRITO, R.; PINHEIRO, D. T.; COUTO, L. **Mogno africano - Produção de madeira nobre no Brasil**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Florestas, 2018. 92p.

ARMSTRONG, M.; REILLY, D. F.; LELIEVUE, T.; HOPEWELL, G.; REDMAN, A.; FRANCIS, L.; ROBERTSON, R. M. **Evaluation of the wood quality and potential use of plantation grown *Khaya senegalensis* (African mahogany)**. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation, 2007. 93p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112**: Carvão vegetal – Análise imediata. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BANDEL A. **Adhesivos y tecnología del encolado en la industria de la madera**. Milano. 1991. 288f.

BILA, N. F.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 455-464, 2016.

BOA, A. C.; GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ARANTES, M. D. C. Resíduos madeireiros de eucalipto colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 279-288, 2014.

BIANCHE, J. J.; TEIXEIRA, A. P. M.; LADEIRA, J. P. S.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, R. M. Cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus* sp. colado com diferentes adesivos e diferentes gramaturas. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. elliottii plantado no sul do Brasil**. 1995. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

CAMPOS, N. P. **Utilização da madeira de desbaste de *Khaya ivorensis* A. Chev para fabricação de painel colado lateralmente (EGP)**. 2020. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

FANECO, T. M. S. **Caracterização das propriedades mecânicas de um adesivo estrutural de alta ductilidade**. 2014. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2014.

FRANÇA, M. C.; ZEN, L. R.; JUIZO, C. G. F.; CREMONEZ, V. G.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Production of joints of *Eucalyptus* sp. to obtain edge glued panels. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, p. 1-6, 2020.

FRANÇA, T. S. F. A.; ANDRADE, J. K. B.; FRANÇA, F. J. N.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B. Evaluation of shear strength and wood failure of two african mahogany species planted in Brazil. **Forest Products Journal**, v. 68, n. 4, p. 430-435, 2018.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. **Adhesives with wood materials bond: Formation and performance**. In: Wood Handbook - Wood as an Engineering Material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Chapter 10. 2010.

GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. A.; SCHAYDER, L. F.; TINTI, V., P.; SANTIAGO, S. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de *Pinus* sp. coladas em temperatura ambiente. **Ciência da Madeira**, v. 7, n.1, p. 42-50, 2016.

GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. A.; PAES, J. B.; CHAVES, I. L. S.; MARTINS, R. S. F.; BARROS, S. B.; SOUZA, S. F.; SILVA, L. F.; OLIVEIRA, R. G. E.; OLIVEIRA, J. G. L. Eficiência da colagem em madeira de kiri japonês (*Paulownia tomentosa*). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 95-102, 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2020**. Brasília: Indústria Brasileira de Árvores, 2020. 66p.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D.; VILLAS BÔAS, B. T. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 411-416, 2013.

LIMA, M. F. Para vencer grandes vãos. **Revista de Tecnologia da Construção Téchné**, v. 2, n. 11, p. 15-17, 1994.

MORAES, M. D. A.; SILVA, M. F.; BARBOSA, P. V. G.; MARQUES, R.; SILVA, R. T.; SETTE JÚNIOR, C. R. Caracterização da biomassa, carvão vegetal e briquetes de *Khaya ivorensis* (A. Chev). **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 34-44, 2019.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C. A.; VIDAURRE, G. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 615-621, 2014.

PAES, J. B.; SANTOS, L. L.; SILVA, L. F.; MOTTA, J. P.; BRAZ, R. L.; LOMBARDI, L. R. Caracterização tecnológica da madeira juvenil de teca (*Tectona grandis*) visando à produção de móveis. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.3, p.437-442, 2015.

SANTOS, L. H. O; ALEXANDRE, F. S.; MENDOZA, Z. M. S. G.; SOUZA, E. C.; BORGES, P. H. M.; MARIANO, R. R.; DIAZ, L. M. G. R.; NUNES, C. A. Características químicas e físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 361-366, 2020.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B. Propriedades da madeira do mogno-africano (*Khaya* spp.). In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Org.). **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2019. p. 287-362.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; ARANTES, M. D. C.; BATISTA, D. C.; SORANSO, D. R.; BILLO, D. F. Qualidade da madeira de mogno africano para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 181-190, 2016.

SILVA, J. G. M.; MEDEIROS NETO, P. N.; SORANSO, D. R.; TINTI, V. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; OLIVEIRA, J. G. L. Influence of anatomy on the adhesion performance of four wood species. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 1-17, 2020.

SOUZA, G. O.; PIMENTA, A. S.; TRIANOSKI, R.; MELO, R. R.; AZEVEDO, T. K. B.; CASTRO, R. V. O. Production of edge-glued panels with wood from three Brazilian dry forest tree species and five types of adhesives. **International Wood Products Journal**, v. 11, n. 2, p. 1-8, 2020.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T-204 om-88**. TAPPI test methods: Solvent extractives of Wood and pulp. Atlanta: TAPPI Press, 1996.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeiras de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 637-644, 2006.

CAPÍTULO III

PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA DE PINUS E MOGNO AFRICANO PROVENIENTE DE DESBASTE

Resumo: No Brasil, a madeira de árvores de pinus é a principal matéria-prima utilizada pela indústria de painéis aglomerados. Com a crescente demanda dos mercados nacional e internacional por aglomerados, a busca por espécies alternativas de rápido crescimento faz-se necessária. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de painéis aglomerados, produzidos em escala laboratorial, utilizando partículas de madeira de árvores de mogno africano provenientes de desbaste, com dez anos de idade, nas proporções de 25, 50 e 75% em substituição à madeira de pinus. Os painéis aglomerados foram produzidos com uma densidade nominal de 700 kg m^{-3} e 12% de adesivo ureia-formaldeído, prensados a 140°C e 3,92 MPa, durante 10 minutos. A qualidade dos painéis aglomerados foi avaliada pelos ensaios de densidade; absorção de água; inchamento em espessura; flexão estática; tração perpendicular; dureza Janka e arrancamento de parafuso – topo e superfície. A inclusão de partículas de mogno africano resultou em painéis com maior estabilidade dimensional e melhores propriedades mecânicas. Pôde-se concluir que a madeira de mogno africano, proveniente de desbaste, nas condições silviculturais em que o povoamento se desenvolveu, apresenta potencial promissor para a produção de painéis aglomerados, gerando um produto de qualidade satisfatória, além de agregar valor à madeira juvenil.

Palavras-chave: MDP; propriedades físicas; propriedades mecânicas; painel homogêneo; painel misto.

CHAPTER III

PARTICLEBOARDS FROM PINUS AND AFRICAN MAHOGANY FROM THINNING

Abstract: In Brazil, the wood from pine trees is the main raw material used by the particleboard industry. With the growing demand of the national and international markets for agglomerates, the search for alternative species of fast growth becomes necessary. The objective of this work was to evaluate the quality of particleboard panels, produced on a laboratory scale, using wood particles from african mahogany trees from thinning, 10 years old, in the proportions of 25, 50 and 75% replacing wood of pine. The chipboard panels were produced with a nominal density of 700 kg m^{-3} and 12% urea-formaldehyde adhesive, pressed at 140°C and 3.92 MPa, for 10 minutes. The quality of the agglomerated panels was evaluated by density tests; water absorption; swelling in thickness; static bending; perpendicular traction; Janka hardness and screw pullout – top and surface. The inclusion of african mahogany particles resulted in panels with greater dimensional stability and better mechanical properties. It was concluded that the african mahogany wood, from thinning, in the silvicultural conditions in which the stand was developed, presents promising potential for the production of particleboard, generating a product of satisfactory quality, in addition to adding value to juvenile wood.

Keywords: medium-density particleboard; physical properties; mechanical properties; homogeneous panel; mixed panel.

1. INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente conhecidos como aglomerados e/ou MDP's, são produzidos a partir de partículas de madeira, incorporadas por um adesivo, sob efeito de calor e pressão (CHAYDARREH et al., 2021; KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975). Considerados os painéis de madeira reconstituída mais produzidos e consumidos em todo o mundo (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2019), são continuamente utilizados em construções, móveis e decoração de interiores (OWODUNNI et al., 2020).

Apesar dos estudos acerca do uso de resíduos madeireiros e agroindustriais para a produção de painéis aglomerados, a madeira é a principal matéria-prima utilizada na indústria. No Brasil, essa madeira advém de florestas plantadas, onde dos 9 milhões de hectares existentes, 6% são destinados para o segmento de painéis de madeira e pisos laminados (IBÁ, 2020), sendo o mercado praticamente dominado pelos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

A oitava posição na produção mundial de painéis de madeira é ocupada pelo Brasil, sendo a maior parte das unidades produtoras situadas nas regiões sul e sudeste do país. Atualmente, os Estados Unidos e o México destacam-se como os maiores consumidores dos painéis brasileiros (IBÁ, 2020).

É crescente a demanda do mercado internacional por aglomerados (YILDIRIM; CANDAN, 2021) e no Brasil não é diferente. Segundo o Ibá (2021) foi registrado um aumento de 26,2% no consumo aparente de painéis do ano de 2020 para 2021 no país.

Os materiais lignocelulósicos, em geral, podem ser utilizados para a produção de painéis, entretanto até então somente as madeiras de coníferas e folhosas apresentam-se como fonte permanente e ininterrupta de matéria-prima (DACOSTA et al., 2005). No Brasil, a madeira de árvores de pinus é a principal matéria-prima utilizada pela indústria de painéis aglomerados. Contudo, a busca por espécies alternativas de rápido crescimento faz-se necessária em função da crescente demanda do mercado.

Na última década, os plantios de mogno africano foram intensificados no Brasil (SILVA; VIDAURRE, 2019), sendo o país o maior plantador deste gênero (IEDE, 2019). Apesar destas florestas, em geral, ainda não terem alcançado a idade final de corte, desbastes seletivos têm sido realizados ao longo do ciclo de rotação. Destinar, portanto, a madeira de desbaste de árvores de mogno africano à produção de painéis aglomerados seria uma forma de agregar valor a este material, além de ainda contribuir na diversificação de matérias-primas utilizadas nas indústrias deste segmento.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados, produzidos em escala laboratorial, utilizando partículas de madeira de pinus e de árvores de mogno africano provenientes de desbaste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material e amostragem

A madeira de árvores de mogno africano (*Khaya grandifoliola*) utilizada neste trabalho foi proveniente de um desbaste, aos 10 de anos de idade, em um reflorestamento localizado na cidade de Pirapora - MG. A madeira de pinus (*Pinus* sp.), no formato de tábuas, foi adquirida em um comércio local, isenta de preservantes químicos. Foram utilizadas toras de mogno africano, da última porção comercial das árvores (75-100% do fuste), com diâmetro médio igual a 20 centímetros.

As toras foram descascadas, desdobradas, seccionadas em corte transversal e transformadas em partículas por meio de um gerador de partículas e de um moinho de martelo com malha de 8 mm. As tábuas de pinus também foram seccionadas e transformadas em partículas.

A classificação das partículas foi realizada em um conjunto de peneiras vibratórias sendo utilizadas as que passaram na peneira com malha de 4 mm e ficaram retidas na peneira com malha de 2 mm. O material foi seco em estufa a 70°C de temperatura até atingir teor de umidade de 5%.

2.2 Caracterização físico-química da madeira

A densidade básica foi realizada segundo a NBR 11941 (ABNT, 2003), por meio da saturação completa de amostras de madeira e posterior secagem em estufa a 103 ± 2 °C.

Os teores de extrativos, lignina e cinzas foram determinados por meio de serragem classificada em peneiras com malha de 40 e 60 mesh. Da serragem retida na malha de 60 mesh procedeu-se a extração em tolueno:etanol (2:1), conforme procedimentos descritos pelo método T204 om-88 (TAPPI, 1996). A lignina total foi quantificada após determinação e soma da lignina solúvel, segundo metodologia desenvolvida por Gomide e Demuner (1986) e lignina insolúvel, por meio da equação descrita por Goldschimid (1971). Para quantificação do teor de cinzas seguiu-se a metodologia descrita pela NBR 8112 (ABNT, 1983).

Para a determinação do pH e da capacidade tampão foram solubilizadas 5 gramas de serragem seca, em 150 mL de água destilada. Posteriormente, as amostras foram submetidas a refluxo por 20 minutos e sob agitação à temperatura ambiente por 24h, sendo então obtido o pH da solução por meio de um pHmetro digital, calibrado com soluções tampão 4, 7 e 10. Em seguida, as amostras foram tituladas com solução de NaOH 0,001N até pH 7 para determinação da capacidade tampão (ALMEIDA, 2009). Realizou-se 5 repetições para cada análise físico-química da madeira.

2.3 Propriedades reológicas do adesivo

Para a produção dos painéis aglomerados foi utilizado o adesivo ureia-formaldeído. Avaliou-se a densidade, o pH, a viscosidade, o teor de sólidos e o tempo de gel, com 5 repetições por análise.

A densidade foi realizada por meio de um picnômetro de volume igual a 25 mL e pesagem do fluido a temperatura ambiente, conforme Paes (1997). Utilizando-se um pHmetro digital registrou-se as medidas de pH, após quatro minutos de contato do eletrodo com o adesivo. A viscosidade foi determinada mediante viscosímetro digital, com haste nº 2 e rotação de 30 RPM, com base nas diretrizes da norma D1084-16 (ASTM, 2021). A obtenção do teor de sólidos deu-se por meio da pesagem de 2 gramas do adesivo, posteriormente seco em estufa a 103 ± 2 °C, com base na relação peso seco (g) e peso úmido (g) (BRITO, 1995).

Por fim, 10 gramas de ureia-formaldeído foram depositadas em tubo de ensaio e em seguida foi adicionado 2%, com base no teor de sólidos contidos no adesivo, de uma solução de sulfato de amônia a 24% (catalisador). A mistura foi homogeneizada com bastão de vidro em banho-maria à temperatura de 90 °C até o ponto de endurecimento (mudança da fase líquida para gel), sendo o tempo de gel expresso pela quantidade de segundos contabilizados para esta transição (BRITO, 1995).

2.4 Produção dos painéis aglomerados

O colchão matricial de massa total igual a 1580 gramas foi formado por diferentes proporções de partículas de mogno africano e pinus, visando um painel de densidade média equivalente a 700 kg m^{-3} , com razões de compactação dentro da faixa ideal (1,3 a 1,6), calculadas pela relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira (MALONEY, 1993). Levou-se em consideração a proporção de cada espécie nas composições (Tabela 1).

Tabela 1. Composição dos painéis aglomerados e razões de compactação estimadas (RCE) por tratamento

Tratamento	Composição	RCE
T1	100% mogno africano	1,46
T2	75% mogno africano e 25% pinus	1,50
T3	50% mogno africano e 50% pinus	1,54
T4	25% mogno africano e 75% pinus	1,58
T5	100% pinus	1,59

As partículas foram dispostas em uma encoladeira onde foram homogeneizadas com adição de 12% de adesivo ureia-formaldeído (em relação à massa seca das partículas empregadas).

O colchão matricial do painel, com dimensões de 42,5 × 42,5 cm, foi formado por intermédio de uma pré-prensagem a frio em uma caixa formadora. Em seguida, encaminhado para prensagem final, a quente, em prensa hidráulica a 140 °C de temperatura e 3,92 MPa, durante 10 minutos, com espessura final limitada em 1,25 cm.

Foram produzidos 4 painéis por tratamento, os quais foram acondicionados em câmara climatizada (25 ± 2 °C de temperatura e $65 \pm 2\%$ de umidade relativa) até atingirem massa constante.

2.5 Avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis

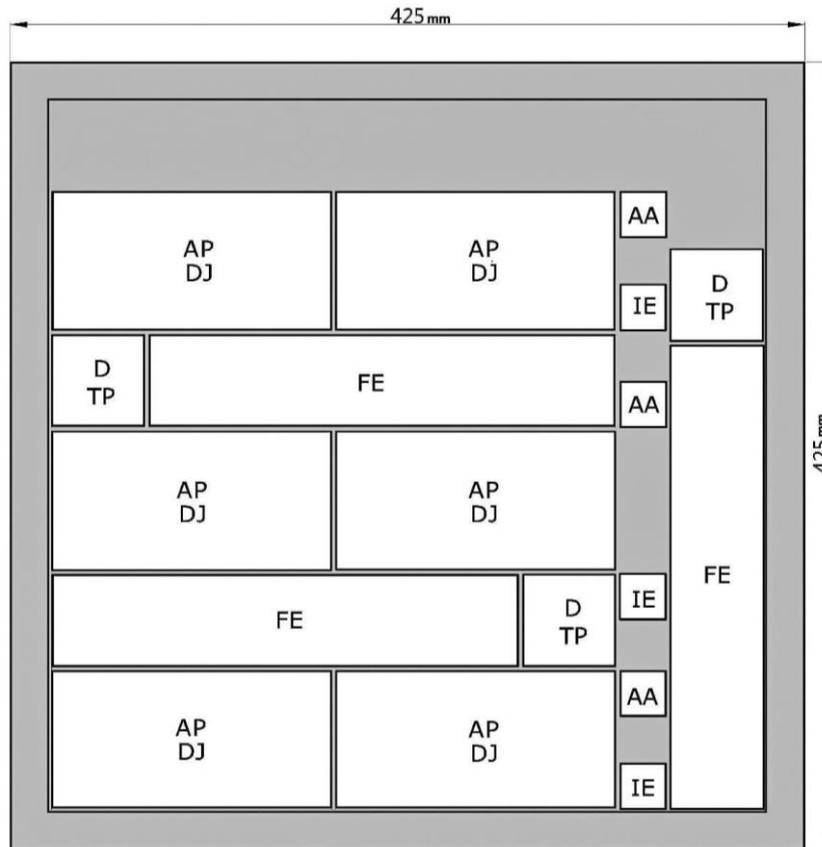
De cada painel foram retiradas 3 amostras para determinação da densidade; absorção de água; inchamento em espessura; flexão estática; tração perpendicular; dureza Janka e do arrancamento de parafuso – topo e superfície, com 12 repetições por tratamento.

A Figura 1 demonstra a disposição de retirada das amostras de cada painel produzido para realização dos ensaios acima propostos, conforme determinação da NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Foi realizado também o perfil da densidade dos painéis por meio de um densitômetro de raios-X (GreCon, DAX 6000), em uma operação de escaneamento contínuo ao longo da espessura da amostra dos painéis aglomerados, com pontos de leitura a cada 20 µm.

Para a absorção de água e inchamento em espessura realizou-se pesagem e medição em ponto central da amostra, respectivamente, após 2 e 24h de imersão em água a temperatura ambiente. Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaios, com capacidade de 10 toneladas.

Figura 1. Diagrama de corte para obtenção dos corpos de prova no painel aglomerado.



Em que: D e TP: densidade e tração perpendicular (50 x 50 mm); AA e IE: absorção de água e inchamento em espessura (25 x 25 mm) - 2 e 24 horas; FE: flexão estática - MOR e MOE (250 x 50 mm); DJ e AP: dureza Janka e arrancamento de parafuso topo e face (150 x 75 mm)
 Fonte: a autora.

2.6 Análise estatística dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os dados foram avaliados quanto às pressuposições de variância comum (homocedasticidade) e normalidade dos erros experimentais por meio dos testes de Cochran e Shapiro-Wilk, respectivamente. Para avaliar o efeito dos tratamentos nas propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados realizou-se a análise de variância e havendo rejeição da hipótese de igualdade, foi aplicado o teste de médias (F; Tukey, $p < 0,05$). As análises foram realizadas a partir do software *SigmaPlot 13.0*. Os dados de absorção de água e inchamento em espessura foram anteriormente transformados em $\arcsen\sqrt{(x/100)}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades da madeira

As madeiras de mogno africano e de pinus utilizadas neste trabalho são consideradas de baixa densidade ($\leq 500 \text{ kg m}^{-3}$), conforme classificação proposta por Melo, Coradin e Mendes (1990) e prontamente adequadas, de acordo Maloney (1993) para produção de painéis de partículas por apresentarem densidades inferiores a 550 kg m^{-3} (Tabela 2).

A densidade da madeira é um importante parâmetro a ser observado na produção de painéis aglomerados. Matérias-primas de baixa densidade proporcionam a densificação necessária para a formação do painel, favorecendo conseqüentemente seu desempenho físico-mecânico (IWAKIRI et al., 2005b).

Tabela 2. Valores médios de densidade e teores de extrativos, lignina e cinzas por espécie

Espécie	Densidade básica (kg m^{-3})	Extrativos (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)
Mogno Africano	480	6,18	30,90	0,82
Pinus	440	3,34	30,92	0,30

A quantidade de extrativos presentes na madeira é variável, podendo atingir valores próximos a 30%, mas elevados teores desse componente podem dificultar a produção de painéis de madeira reconstituída, uma vez que interferem nas reações de polimerização do adesivo, bloqueando o contato com as partículas no processo de colagem (BUFALINO et al., 2012). Foram observados valores de 6,18% para a madeira de mogno africano e 3,34% para a madeira de pinus (Tabela 2).

Em contrapartida, a lignina, aglutinante natural da própria madeira, é uma constituinte desejável no processo por proporcionar uma maior adesão entre as partículas dos painéis (ARAÚJO JÚNIOR, 2014). Os teores de lignina presentes nas madeiras de mogno africano e pinus perfizeram valores próximos a 30% (Tabela 2).

O teor de cinzas (Tabela 2) foi a propriedade da madeira estudada mais variável entre as espécies (173,3%), apesar dos baixos percentuais apresentados. Quantidades elevadas dessas substâncias minerais afetam negativamente a produção de painéis, causando desgaste nos picadores, serras e lixadeiras, comprometendo o acabamento do painel, além de interferirem no pH das partículas e prejudicarem a adesão (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JÚNIOR, 2005).

O pH e a capacidade tampão influenciam diretamente na cura do adesivo e medem, respectivamente, o nível de acidez da madeira bem como sua resistência à

mudança de nível do pH. A elevada acidez da madeira pode favorecer a pré-cura do adesivo, dificultando sua fluidez, umectação e penetração, comprometendo a qualidade do painel aglomerado (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JÚNIOR, 2005).

Tanto a madeira de mogno africano quanto a madeira de pinus possuem caráter ácido nos dois métodos avaliados (Tabela 3), enquadrando-se no que normalmente é apresentado pela maioria das espécies (3 a 6). O pH está ainda na faixa ideal para utilização do adesivo ureia-formaldeído, que cura em meio ácido.

Tabela 3. Valores médios de pH e capacidade tampão ácida (CTA) por espécie

Espécie	Água fria – 24h		Água quente – 20 min	
	pH	CTA (mmol NaOH 5g ⁻¹)	pH	CTA (mmol NaOH 5g ⁻¹)
Mogno Africano	6,23	0,0071	5,79	0,0170
Pinus	4,59	0,0061	4,73	0,0344

3.2. Propriedades do adesivo

A ureia-formaldeído ainda é o adesivo mais utilizado na indústria de painéis aglomerados, em função do seu desempenho e baixo custo em relação aos demais adesivos sintéticos (SILVA et al., 2019). Na tabela 4 é apresentada suas propriedades de densidade, pH, viscosidade, teor de sólidos e tempo de gel.

Tabela 4. Propriedades do adesivo ureia-formaldeído utilizado no presente trabalho

Propriedade avaliada	Valor observado
Densidade (g/mL)	1,48
pH	7,80
Viscosidade (mPa)	422,54
Teor de sólidos (%)	66,18
Tempo de gel (s)	74,00

A densidade do adesivo, em geral, é uma propriedade pouco avaliada, sendo a encontrada neste trabalho (1,48 g mL⁻¹) ligeiramente superior às relatadas por Gonçalves e Lelis (2009); Trianoski et al. (2013); Gonçalves et al. (2017) e Martins et al. (2021).

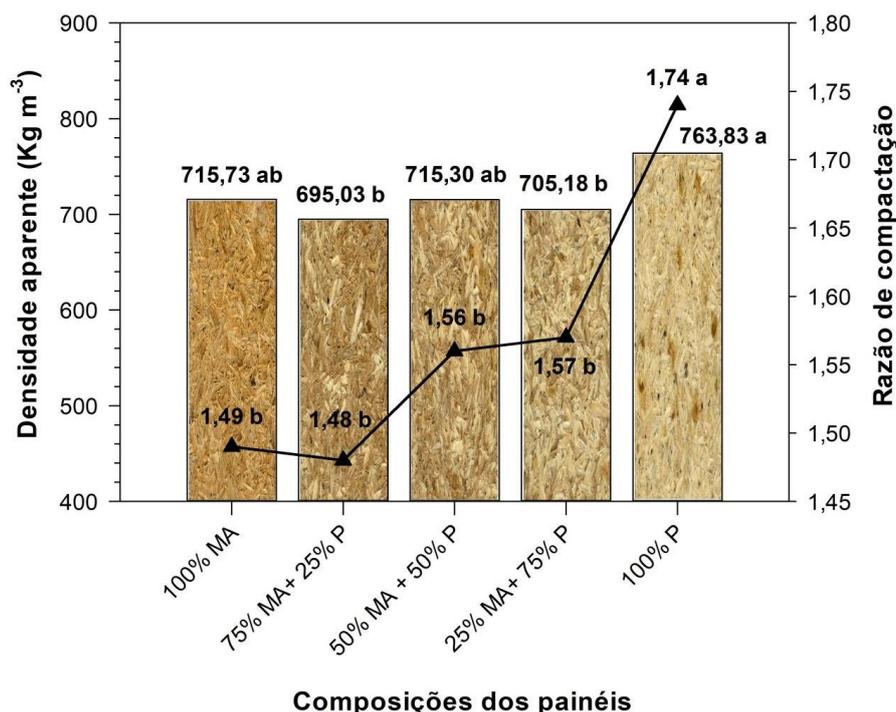
As propriedades de pH, viscosidade e teor de sólidos do adesivo utilizado enquadram-se nos intervalos apresentados por Albuquerque; Iwakiri; Keinert Júnior (2005) – 7,4 a 7,8; 400 a 1000 mPa; 60 a 70%, respectivamente.

O tempo de gel, 74 segundos neste trabalho, indica a velocidade de cura do adesivo e permite conhecer o tempo de vida do mesmo após adição do catalisador. Logo, maiores tempos prolongam a fase de prensagem dos painéis (CHAVES, 2018).

3.3. Propriedades dos painéis aglomerados

A densidade aparente e a razão de compactação dos painéis aglomerados foram significativamente influenciadas pela composição dos mesmos (Figura 2). A maior densidade foi apresentada pela composição 100% pinus ($763,83 \text{ kg m}^{-3}$) enquanto a menor densidade ($695,03 \text{ kg m}^{-3}$) foi exibida pela composição 75% mogno africano e 25% de pinus.

Figura 2. Densidade aparente e razão de compactação médias por composição



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).
Fonte: a autora.

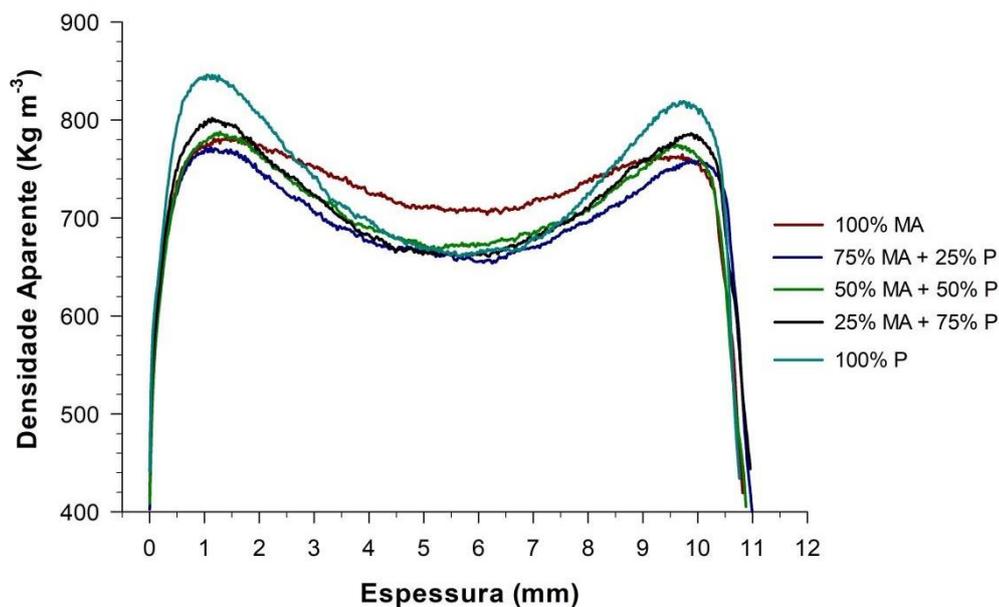
As discrepâncias de densidade dos painéis apontadas entre as composições devem-se às diferentes densidades das madeiras e à proporção que cada uma delas ocupou nos painéis aglomerados. A densidade da madeira de pinus é menor que a densidade da madeira de mogno africano, acarretando em uma maior quantidade de material compactado e, conseqüentemente, numa maior razão de compactação, que reflete nas propriedades físico-mecânicas dos painéis segundo Wang et al. (2000). A composição 100% pinus apresentou o maior valor absoluto de razão de compactação (1,74) e diferiu-se estatisticamente dos demais (Figura 2).

Independente da composição, todos os painéis aglomerados apresentaram uma razão de compactação superior a 1,3, o recomendado por Moslemi (1974) e Maloney

(1993), de modo a assegurar uma área de contato satisfatória entre as partículas e uma densificação suficiente para a formação do painel.

Todos os painéis produzidos neste trabalho são classificados como de média densidade ($640 \leq \rho \leq 800 \text{ kg m}^{-3}$), conforme a ANSI A280.1 (1999). A Figura 3 ilustra a variação da densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados nas cinco composições avaliadas.

Figura 3. Perfil médio de densidade aparente dos painéis aglomerados por composição. MA: *Mogno Africano*; P: *Pinus*.



Composição dos painéis	Densidade aparente (kg m^{-3})			
	$D_{\text{média}}$	$D_{\text{máx esquerda}}$	$D_{\text{máx direita}}$	$D_{\text{mínima}}$
100% MA	715,73	771,06	757,65	678,00
100% MA + 25% P	695,03	771,18	757,08	646,40
50% MA + 50% P	715,30	788,62	779,45	666,48
25% MA + 75% P	705,18	791,75	781,42	647,79
100% P	763,83	874,12	847,79	649,30

Fonte: a autora.

O perfil de densidade em formato de “M”, típico de painéis prensados a quente, caracteriza superfícies com extremidades mais densas do que a parte central. Isso ocorre durante a fase de prensagem em razão das faces em contato com os pratos metálicos da prensa receberem primeiro os efeitos da pressão e temperatura (transformação da umidade em vapor, plasticização da lignina e consolidação do adesivo), o que facilita a compressão (KELLY, 1977).

Apesar de todas as composições seguirem a mesma tendência, a composição 100% pinus apresentou os maiores picos de densidade tanto na face superior quanto

inferior dos painéis, representados na Figura 3 como $D_{m\acute{a}x\ esquerda}$ e $D_{m\acute{a}x\ direita}$, respectivamente. À medida que partículas de mogno africano foram adicionadas nas proporções, notou-se uma redução nos picos de densidade. A composição 100% mogno africano apresentou a maior linearidade de densidade ao longo da espessura do painel, ou seja, a transição menos abrupta das faces em relação à região interna, indicando melhor homogeneidade da densidade no perfil do painel.

A densidade mínima, observada na região central do painel (Figura 3), guarda relações com o seu desempenho, principalmente quanto à resistência à tração perpendicular e o arrancamento de parafuso – topo (BELINI; TOMAZELLO FILHO; CHAGAS, 2009; LOPEZ et al. 2021) (Figura 6).

Na Figura 4 tem-se a representação média das propriedades de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis aglomerados produzidos. Ambas as propriedades distinguiram estatisticamente nos dois tempos avaliados (2h e 24h) e seguiram a mesma tendência de aumento à medida que a proporção de pinus nas composições foi acrescida. Tal fato está intimamente relacionado à razão de compactação, uma vez que as maiores razões de compactação apresentadas (Figura 2) também estavam ligadas às maiores proporções de pinus nas composições.

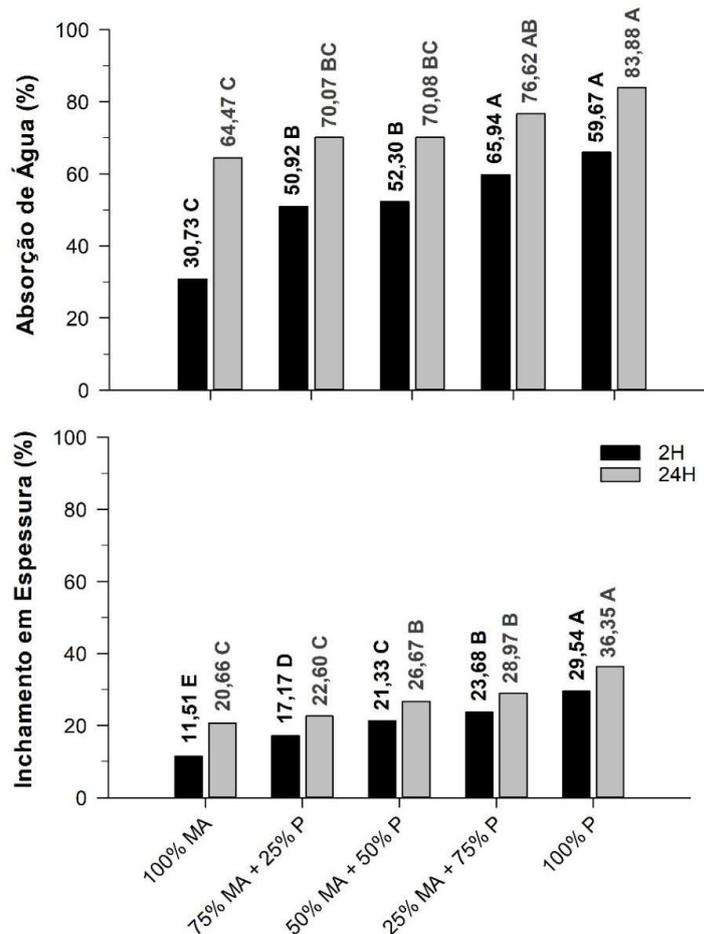
Painéis com elevada razão de compactação apresentam maior liberação das tensões de compressão impostas durante o processo de prensagem, resultando em maior inchamento higroscópico (IWAKIRI et al., 2005a). Gonçalves et al. (2017) e Pizzi (1993) atribuem ainda esses acréscimos nos valores de absorção de água e de inchamento em espessura à afinidade do adesivo ureia-formaldeído com moléculas de água. Comportamento semelhante a este trabalho foi observado por Pereira et al. (2017) em painéis aglomerados produzidos com misturas de madeiras de *Eucalyptus badjensis* e de *Pinus* sp.

Os painéis aglomerados compostos por 100% de mogno africano são os mais estáveis dimensionalmente quando comparados aos demais, apresentando as menores médias de absorção de água e de inchamento em espessura, tanto em 2h como em 24h, após imersão em água. Comparado aos painéis compostos por diferentes proporções de pinus, os aglomerados de mogno africano também absorvem água e incham mais lentamente até a capacidade máxima (24h). Esta é uma resposta promissora, visto que o pinus é uma espécie amplamente utilizada na produção comercial de painéis de madeira aglomerada.

De acordo a ANSI A280.1 (1999), que estipula valores máximos de 35% para inchamento em espessura após 24 horas de imersão, todos os painéis aglomerados

produzidos atendem a norma de comercialização, exceto os painéis compostos 100% por pinus, com inchamento médio igual a 36,35%. Por vezes, levando-se em consideração a NBR 14810-2 (ABNT, 2018) onde o valor máximo permitido é de 22% para o critério inchamento após 24h somente os painéis compostos 100% por mogno africano se enquadram.

Figura 4. Valores médios da absorção de água e do inchamento em espessura, 2h e 24h, nos painéis aglomerados por composição. MA: Mogno Africano; P: Pinus.

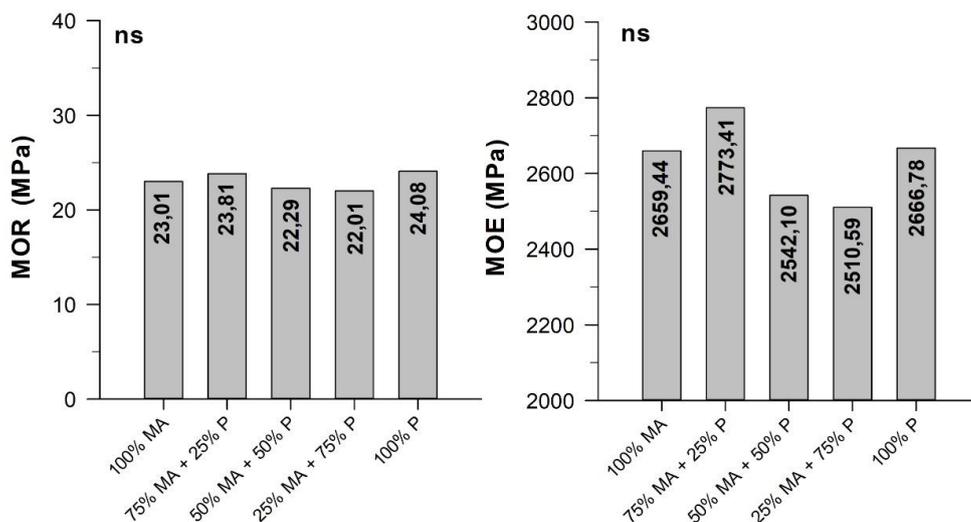


Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).
Fonte: a autora.

As propriedades mecânicas dos painéis aglomerados avaliados com as respectivas médias por composição são apresentadas nas Figuras 5 e 6.

Os módulos de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) à flexão estática não diferiram estatisticamente entre as diferentes composições avaliadas (Figura 5). Por vezes, as melhores médias apresentadas pelos painéis compostos 100% por pinus podem estar relacionadas à maior densidade e razão de compactação dos mesmos (Figura 2).

Figura 5. Valores médios dos módulos de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) dos painéis aglomerados por composição. MA: *Mogno Africano*; P: *Pinus*



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$). ns: não significativo.
Fonte: a autora.

Maior massa específica em painéis aglomerados implica em maior número de partículas por unidade de volume, o que proporciona uma maior resistência mecânica (LUO; GAO; GUO, 2020). Wong et al. (1998) atribuem ainda a maior resistência à flexão ao perfil de densidade do painel com picos mais pronunciados nas faces, uma vez que são as camadas externas que suportam a maior parte da carga aplicada durante o ensaio.

Os valores de MOR variaram de 22,01 MPa a 24,08 MPa, atendendo ao estipulado pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018) que estabelece 11 MPa como limite inferior, enquanto os valores de MOE variaram entre 2510,59 MPa a 2774,41 MPa enquadrando-se também no critério de valor mínimo da NBR 14810-2 (ABNT, 2018) de 1600 MPa.

A norma de comercialização da ANSI A208.1 (1999) admite valores mínimos de 11 MPa e 1725 MPa para MOR e MOE, respectivamente, para painéis de partículas de média densidade. Apesar de um pouco mais criteriosa, todos os painéis aglomerados produzidos neste trabalho se enquadram no previsto pela norma.

Os valores de MOR e MOE mensurados neste trabalho (Figura 5) foram superiores aos encontrados por Iwakiri et al. (2000) em madeira de *Eucalyptus maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*; Trianoski et al. (2013) em *Acrocarpus fraxinifolius*; Cunha et al. (2014) em *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. grandis*; Trianoski, Iwakiri e Matos (2014) em *Toona ciliata*; Mendes et al. (2014) em *P. oocarpa* e clones de *E. urophylla*; Sanches et al. (2016) em *P. taeda*, *E. saligna*, *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*; Gonçalves et al. (2017) em

Acacia mangium; Sunardi et al. (2020) em mogno (*Swietenia mahogany*) e, por fim, Faria et al. (2021) em *P. oocarpa* e *Hevea brasiliensis*.

A resistência à tração perpendicular (ligação interna) dos painéis aglomerados também foi avaliada. As diferentes composições diferiram-se estatisticamente, sendo as melhores médias (0,95 MPa e 0,92 MPa) apresentadas pelos painéis compostos por 75% mogno africano e 25% pinus e, o inverso, 25% mogno africano e 75% pinus, respectivamente (Figura 6).

Os painéis aglomerados produzidos 100% por pinus apresentaram a menor média de resistência à tração perpendicular entre os tratamentos (0,72 MPa), o que pode ser explicado pelo maior volume de partículas na formação do colchão matricial, resultando em uma menor quantidade de adesivo por partícula, comprometendo conseqüentemente o processo de adesão e a ligação interna. Os painéis compostos 100% por pinus também apresentaram a maior amplitude de densidade ao se observar o perfil densitométrico na Figura 3, com picos pronunciados nas extremidades e considerável redução na parte central ($D_{mínima}$), o que também influenciou o resultado apresentado para a resistência à tração perpendicular.

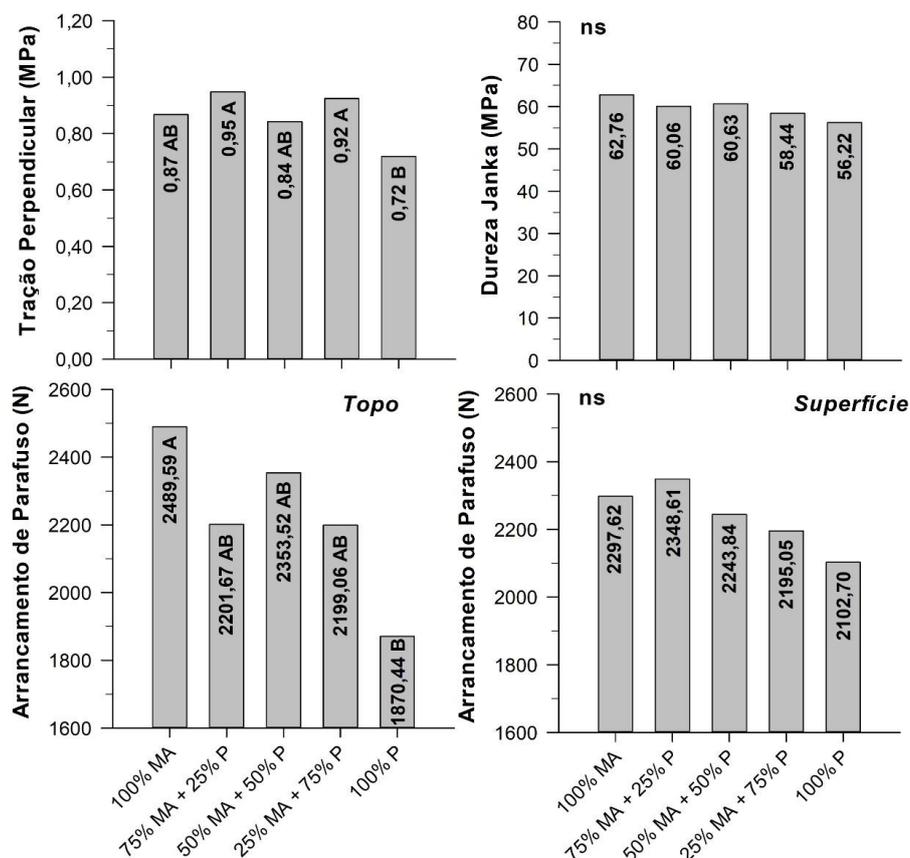
Independente do percentual empregado, a adição de partículas de mogno africano na composição dos painéis elevou os valores médios de resistência à tração perpendicular em até 32%. Ademais, todos os painéis produzidos atendem à normativa ANSI A280.1 (1999) que estabelece um valor mínimo igual a 0,40 MPa.

Quanto à dureza Janka, as diferentes composições dos painéis aglomerados não diferiram estatisticamente ($p \geq 0,05$). A maior média (62,76 MPa) refere-se aos painéis aglomerados compostos 100% por mogno africano enquanto a menor média (56,22 MPa) corresponde à composição 100% pinus (Figura 6).

Sunardi et al. (2020) estudando a madeira de mogno (*Swietenia mahogany*) com vistas à produção de painéis aglomerados obtiveram valor médio para esta propriedade igual a 43 MPa, cerca de 31,5% menor do que a média encontrada para a composição 100% mogno africano estudada.

Todos os valores médios de dureza Janka encontrados neste trabalho estão em conformidade com a norma ANSI A280.1 (1999) que estabelece 22,7 MPa como limite mínimo aceitável.

Figura 6. Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis aglomerados por composição. MA: Mogno Africano; P: Pinus



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$). ns: não significativo.
Fonte: a autora.

Na Figura 6 foram apresentadas também as médias para a propriedade de resistência ao arrancamento de parafuso – topo e superfície.

A resistência ao arrancamento de parafuso no topo dos painéis aglomerados foi a propriedade que apresentou maior variação (33,1%) frente à mudança de composição, manifestando diferença estatística entre os tratamentos. Os valores médios variaram de 1870,44 N a 2489,59 N para os painéis aglomerados compostos 100% por pinus e 100% por mogno africano, em ordem. Este resultado corrobora mais uma vez com o perfil densitométrico e com os valores de $D_{mínima}$ apresentados na Figura 3. Os painéis com composição mista de matéria-prima não diferiram estatisticamente entre si.

Ao contrário da avaliação no topo, a resistência ao arrancamento de parafuso na superfície dos painéis aglomerados não apresentou diferença estatística entre as composições. A melhor média (2348,61 N) foi exibida pelos painéis compostos por 75% mogno africano e 25% pinus e a menor média pela composição 100% pinus (2102,70 N).

Segundo a ANSI A280.1 (1999), todos os painéis produzidos se enquadram na exigência mínima proposta de 800 N e 900 N para a resistência ao arrancamento de parafuso topo e superfície, respectivamente. Os valores apresentados neste trabalho foram superiores aos encontrados por Bianche et al. (2012) avaliando *E. urophylla* e *Schizolobium amazonicum*; Trianoski et al. (2013) examinando *Acrocarpus fraxinifolius*; Trianoski, Iwakiri e Matos (2014) estudando *Toona ciliata*; Sanches et al. (2016) trabalhando com *P. taeda*, *E. saligna*, *M. scabrella* e *H. dulcis* e Cabral et al. (2016); Gonçalves et al. (2017) pesquisando *A. mangium* e Faria et al. (2021) analisando *P. oocarpa* e *Hevea brasiliensis*.

4. CONCLUSÕES

A inclusão de partículas de mogno africano resultou em painéis com maior estabilidade dimensional e melhores propriedades mecânicas.

Pela densitometria de raios-X, os painéis compostos 100% de mogno africano apresentaram os menores picos de densidade e, conseqüentemente, a maior linearidade ao longo perfil.

Todos os painéis aglomerados produzidos atenderam às normativas ANSI A280.1 e/ou NBR 14810-2, exceto os compostos 100% por pinus no critério inchamento em espessura após 24h de imersão em água.

A madeira de mogno africano, proveniente de desbaste, possui potencial promissor para a produção de painéis aglomerados, gerando um produto de maior valor agregado e contribuindo para a diversificação de matérias-primas utilizadas nas indústrias deste segmento.

5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesivos e adesão. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, p.13-42.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum***. 2009, 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI. **A208.1**: Particleboard. Gaithersburg, 1999.

ARAÚJO JÚNIOR, C. P. **Painéis de fibras elaborados a partir da casca do coco verde sem adição de resinas aglutinantes**. 2014, 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112**: Carvão vegetal – Análise imediata. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade - Parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D1084-16**: Standard test methods for viscosity of adhesives. West Conshohocken, 2021.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P. Densitometria de raios X aplicada na avaliação tecnológica de painéis MDF de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 84, p. 343-350, 2009.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A.; SANTOS, R. C.; SORATTO, D. N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*). **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 623-630, 2012.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. 1995. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BUFALINO, L.; ABINO, V. C. S.; SÁ, V. A.; CORREA, A. A. R.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. Particleboards made from Australian red cedar: processing variables and evaluation of mixed species. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 24, n. 2, p.162-172, 2012.

CABRAL, C. P. T.; PEREIRA, B. L. C.; CARVALHO, D. M.; OLIVEIRA, A. C.; VITAL, B. R.; GOMES, C. M.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito do tipo de chapa de partículas nas propriedades físicas e mecânicas. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p.118-123, 2016.

CHAVES, I. L. S. **Extração e caracterização de taninos de cascas de eucalipto cultivado em ambientes contrastantes**. 2018. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

CHAYDARREH, K. C.; LIN, X.; GUAN, L.; YUN, H.; GU, J.; HU, C. Utilization of tea oil camellia (*Camellia oleifera* Abel.) shells as alternative raw materials for manufacturing particleboard. **Industrial Crops and Products**, v. 161, 113221, p. 1-9, 2021.

CUNHA, A. B.; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 421-429. 2005.

FARIA, D. L.; EUGÊNIO, T. M. C.; LOPES, D. E.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Particleboards produced with different proportions of *Hevea brasiliensis*: residual wood valorization in higher value added products. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e021420, p. 1-13, 2021.

GOLDSCHIMID, O. "Ultraviolet spectra". In **Lignins**, Sarkanen; K. V. and Ludwing, C. H. Eds., pp. 241–266, Wiley Interscience, New York, 1971.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. **Floresta e Ambiente**, v.16, n. 2, p. 01-07, 2009.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; GARCIA, R. A.; BRITO, E. O. Chapas aglomeradas confeccionadas com ureia-formaldeído sob adição de tanino em pó. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1349-1363, 2017.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; FERRO, F.S.; SILVA, D.A.L.; FEIJOO, G.; LAHR, F.A.R.; MOREIRA, M.T. Cross-country comparison on environmental impacts of particleboard production in Brazil and Spain. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 150, 104434, p. 1-14, 2019.

IEDE, E. T. Apresentação. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Org.). **Mogno-africano (*Khaya spp.*): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2019. p. 8-10.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2020**. Brasília: Indústria Brasileira de Árvores, 2020. 66p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Cenários Ibá nº 65**. 2021. Brasília: Indústria Brasileira de Árvores, 2021. 5p.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JÚNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005a.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F. Adesivos e adesão. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005b, p.137-158.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIAC, E. MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 70p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood Science and Technology**: wood based materials. Berlim: Springer-Verlog, 1975. v. 2, p. 312-550.

LOPEZ, Y. M.; GONÇALVES, F. G.; PAES, J. B.; GUSTAVE, D.; SEGUNDINHO, P. G. A.; LATORRACA, J. V.; NANTET, A. C. T.; SUUCHI, M. A. Relationship between internal bond properties and x-ray densitometry of wood plastic composite. **Composites Part B: Engineering**, v. 204, p. 108477, 2021.

LUO, S.; GAO, L; GUO, W. Effect of face layer manipulation on the density profile and properties of low density particleboard. **Wood Research**, v. 65, n. 1, p. 125-134, 2020.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689p.

MARTINS, R. S. F.; GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. A.; LELIS, C. C.; PAES, J. B.; LOPEZ, Y. M.; CHAVES, I. L. S.; OLIVEIRA, R. G. E. Investigation of agro-industrial lignocellulosic wastes in fabrication of particleboard for construction use. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102903, 2021.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 695-699.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; MENDONÇA, L. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MORI, F. A. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 329-336, 2014.

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

OWODUNNI, A.A.; LAMAMING, J.; HASHIM, R.; TAIWO, O.F.A.; HUSSIN, M.H.; MOHAMAD KASSIM, M.H.; BUSTAMI, Y.; SULAIMAN, O.; AMINI, M.H.M.; HIZIROGLU, S. Adhesive application on particleboard from natural fibers: a review. **Polymer Composites**, v.41, n. 11, p. 4448-4460, 2020.

PAES, J. B. **Efeitos da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal em suas propriedades preservativas**. 1997. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PEREIRA, G. F.; RIOS, P. D.; BUSS, R.; VIEIRA, H. C.; GRUBERT, W.; CUNHA, A. B.; BELINI, U. L. Painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus badjensis* e *Pinus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 373-382, 2017.

PIZZI A. Urea-Formaldehyde Adhesives. In: **Handbook of Adhesive Technology**. PIZZI, A. & MITTAL, K. L. (Ed.). Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker: New York, Chapter 31. 2003.

SANCHES, F. L.; HILLIG, E.; IWAKIRI, S.; NAPOLI, L. M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de espécies florestais tradicionais e não tradicionais. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 559-569, 2016.

SILVA, G. C.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, G. L.; SILVA, B. C.; LOSSANO, W. C. S.; ABREU, H. C. Propriedades de adesivo aplicado em painéis a partir da substituição por lignossulfonato do processo sulfito. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 322-335, 2019.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B. Propriedades da madeira do mogno-africano (*Khaya* spp.). In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Org.). **Mogno-africano (Khaya spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2019. p. 287-362.

SUNARDI; LUSIANI, R.; SAEFULOH, I.; LISTIJORINI, E.; SUMARNA, A. E.; FAWAID, M.; MELIANA, Y. Particleboard characterization using sawdust from sengon wood, mahogany wood, bayur wood, and rice husk ash as composite fillers. **Annals...** In: International Conference on Advanced Mechanical and Industrial engineering. Banten: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. v. 909.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T-204 om-88**. TAPPI test methods: Solvent extractives of Wood and pulp. Atlanta: TAPPI Press, 1996.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, L. M. M.; PRATA, J. G. Propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada de *Acrocarpus fraxinifolius*, compostos com diferentes percentuais de casca. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 761-769, 2013.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, L. M. M. Avaliação de painéis aglomerados de *Toona ciliata* produzidos com diferentes densidades e teores de resina. **Madera y Bosques**, v. 20, n. 3, p. 49-58, 2014.

WANG, S.; WINISTORFER, P.; MOSCHLER, W.; HELTON, C. Hot-pressing of oriented strand board by stepclosure. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 3, p. 28-34, 2000.

WONG, E. D.; ZHANG, M.; WANG, Q.; KAWAI, S. Effects of mat moisture and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard. **Journal of Wood Science**, v. 44, n. 4, p. 287-295, 1998.

YILDIRIM, M.; CANDAN, Z. Performance properties of particleboard panels modified with nanocellulose/boric acid. **BioResources**, v. 16, n. 1, p.1875-1890, 2021.

CAPÍTULO IV

QUANTIFICAÇÃO DE TANINOS CONDENSÁVEIS EM CASCAS DE

Khaya grandifoliola

Resumo: O aproveitamento das cascas de árvores de mogno africano provenientes de desbaste para extração de taninos seria uma alternativa ambiental e econômica de agregar valor ao povoamento até a idade final de corte da madeira. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar o rendimento em taninos condensados obtidos de cascas de árvores de mogno africano provenientes de desbaste, com adição de sulfito de sódio e sulfato de sódio, bem como conhecer a distribuição desses taninos no sentido longitudinal do fuste. Os taninos condensados foram quantificados por meio da reação de Stiasny. O tratamento com sulfito de sódio a 3% proporcionou o maior rendimento em taninos condensados e o valor médio encontrado foi igual a 10,07%. O teor de taninos condensados aumentou no sentido base-topo do fuste. Estudos referentes à caracterização química dos extratos de cascas de árvores de *Khaya grandifoliola*, provenientes de desbaste, em conjunto com o levantamento da proporção casca/lenho e volume de casca por hectare devem ser realizados para levar a conclusões que permitam recomendar o emprego dessa espécie como fonte de matéria-prima tanante para a produção de adesivos.

Palavras-chave: amostragem base-topo; compostos fenólicos; extratos tânicos; sulfito de sódio; sulfato de sódio.

CHAPTER IV

CONDENSED TANNINS QUANTIFICATION IN *Khaya grandifoliola* BARK

Abstract: The use of african mahogany tree bark from thinning for the extraction of tannins would be an environmental and economic alternative to add value to the stand until the final age of cutting the wood. Given the above, the objective of this work was to quantify the yield of condensed tannins obtained from thinning african mahogany tree bark, with addition of sodium sulphite and sodium sulphate, as well as to know the distribution of these tannins in the longitudinal direction of the shaft. Condensed tannins were quantified using the Stiasny reaction. The treatment with 3% sodium sulphite provided the highest yield in condensed tannins and the average value found was equal to 10.07%. The content of condensed tannins increased in the base-top direction of the stem. Studies regarding the chemical characterization of the bark extracts of *Khaya grandifoliola* trees, from thinning, together with the survey of the bark/wood ratio and bark volume per hectare should be carried out to lead to conclusions that allow recommending the use of this species as source of tanning raw material for the production of adhesives.

Keywords: base-top sampling; phenolic compounds; tannic extracts; sodium sulfite; sodium sulfate.

1. INTRODUÇÃO

Provenientes do metabolismo secundário das plantas, os taninos vegetais constituem um grupo de compostos fenólicos de grande interesse econômico e ambiental (SILVA et al., 2016).

Um dos principais e mais antigo uso dos taninos condensados corresponde ao curtimento de pele (AUAD; SPIER; GUTTERRES, 2020), sendo utilizados também como defloculantes na perfuração de poços de petróleo (ISMAIL et al., 2019), no tratamento de água nas etapas de coagulação e de floculação (BELLOA et al., 2020; CARLQVIST et al., 2020) e na produção de adesivos para a colagem da madeira e/ou de painéis (CHEN et al. 2020; ARAÚJO et al. 2021; BOUSSETTA et al. 2021; OKTAY; KIZILCAN; BENGÜ, 2021).

Em meados da década de 70, com a crise do petróleo, esses compostos tornaram-se alvo de estudo e de crescente interesse como fonte alternativa na produção de adesivos, em uma tentativa de substituição total ou parcial dos adesivos comerciais convencionais, oriundos de derivados do petróleo (CARNEIRO et al., 2012).

A busca da substituição dos adesivos sintéticos por adesivos naturais tem relação também com a emissão de substâncias tóxicas – formaldeído – base das resinas fenólicas e uréicas tradicionalmente utilizadas nas indústrias de painéis de madeira (MYERS, 1983). O uso de derivados petroquímicos eleva o preço dos adesivos e conseqüentemente do produto gerado, onerando o processo de produção (CHOW, 1983).

A utilização de adesivos naturais, advindos de fontes renováveis, estende-se ainda ao reaproveitamento de resíduos (SANTIAGO et al., 2019). Os taninos estão presentes em várias partes da planta e nas espécies florestais ocorrem predominantemente nas cascas das árvores, com concentrações até mesmo superiores a 40% (TRUGILHO et al. 2003).

No Brasil, as cascas são removidas antes de qualquer processamento industrial, gerando assim uma grande quantidade de resíduos (VITAL et al., 2004). A extração de taninos a partir das cascas das árvores com vistas à produção de adesivos, portanto, é também uma maneira de reduzir o volume de resíduos e agregar valor a esse material, fazendo delas um subproduto da exploração dos plantios.

O método mais comum para extração dos taninos é utilizando água como solvente, principalmente pela viabilidade econômica. Contudo, para melhorar a eficiência de extração e a qualidade desses taninos, faz-se uso de diferentes concentrações de sais em associação com a água (PIZZI; MITTAL, 1994).

Os taninos são classificados em dois grupos: taninos hidrolisáveis e taninos condensados. Os do tipo hidrolisáveis geralmente estão presentes em pequenas quantidades nos tecidos vegetais, diferentemente dos taninos condensados amplamente distribuídos na natureza (JORGE et al., 2001), constituindo 95% da produção mundial de taninos comerciais (GUANGCHENG; YUNLU; YAZAKI, 1991). Os taninos condensados, segundo Queiroz et al. (2002), constituem a segunda fonte de polifenóis do reino vegetal, atrás apenas da lignina.

No país, a espécie mais utilizada para a produção de taninos condensáveis é a *Acacia mearnsii*, pelas empresas rio sul grandenses: TANAC e SETA. Outros exemplos tipicamente estudados são: o quebracho, o angico, o barbatimão, a jurema-preta, o pinus, o eucalipto, dentre outras espécies (AMARI et al., 2021; GONÇALVES, et al., 2021; LOPES, et al., 2021; MOCCIA et al., 2020; SAIN et al., 2021; SOUSA et al., 2021; ZIDANES et al. 2021).

Tendo em vista o crescimento significativo dos plantios de mogno africano no Brasil nos últimos anos (SILVA; VIDAURRE, 2019), que ainda não alcançaram a idade final de corte e apenas desbastes têm sido realizados, a extração de taninos seria além de uma alternativa ambiental, uma alternativa econômica de agregar valor ao povoamento, uma vez que se têm a madeira de desbaste como um material de menor valor no mercado.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar o rendimento em taninos condensados obtido de cascas de árvores de mogno africano provenientes de desbaste, com adição de sulfito de sódio e sulfato de sódio, bem como conhecer a distribuição desses taninos no sentido longitudinal do fuste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material e amostragem

Para a extração dos taninos vegetais foram utilizadas cascas de 5 árvores de mogno africano, provenientes de desbaste aos 10 anos de idade, pertencentes a um reflorestamento localizado na cidade de Pirapora - MG. As cascas foram retiradas manualmente de discos amostrados em 6 posições da altura comercial das árvores: 0% (base), 1,3 m do solo (DAP), 25%, 50%, 75% e 100%. De cada árvore foram retirados 18 discos, 3 discos correspondentes a cada posição, sendo cada disco com cerca de 5 centímetros de espessura e as árvores com altura média de fuste igual a 10,3 metros.

Após secas ao ar, as cascas foram fragmentadas em moinho de martelo na peneira de 8 mm, moídas em moinho tipo Willey e classificadas em peneiras de malha 40 e 60

mesh. Do material retido na malha de 60 mesh procedeu-se à extração dos taninos. Testaram-se inicialmente, nas cascas correspondentes à base, dois tipos de sais (sulfito de sódio e sulfato de sódio) em três diferentes concentrações (1%, 3% e 5% em relação à massa seca do material). Os tratamentos foram esquematizados conforme a Tabela 1, sendo realizadas 10 repetições por tratamento.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos nas respectivas concentrações e tipo de sal utilizado em água destilada

Tratamento	Concentração de sal	Tipo de sal
T1	-	-
T2	1%	
T3	3%	Na ₂ SO ₃
T4	5%	
T5	1%	
T6	3%	Na ₂ SO ₄
T7	5%	

Da composição de extração que apresentou o maior rendimento em taninos condensados, procedeu-se à extração das cascas correspondentes às demais posições do fuste (DAP, 25%, 50%, 75% e 100%). Fez-se 10 repetições por posição.

2.2. Extração e determinação do rendimento em taninos condensados

Em um balão de fundo chato foram colocados 10 gramas de cascas de árvores de mogno africano em 150 mL de água destilada e, junto a eles, a determinada concentração de sal (Tabela 1), sob refluxo durante 2 horas, como realizado por Vieira et al. (2011).

A partir dos extratos obtidos, foram determinados os teores de extrativos totais, de taninos condensados e de não-taninos. Os taninos condensados foram quantificados por meio da reação de Stiasny (WISSING, 1955 e LELIS, 1995 citado por VIEIRA et al., 2011).

Do filtrado obtido por meio da extração, 25mL foram dispostos em uma placa de Petri com posterior secagem em estufa a 103 ± 2 °C, para determinação da quantidade de extrativos totais contidos na casca com base na massa de sólidos da amostra. A resultante da diferença entre a massa do líquido antes e após secagem representa a quantidade de extrativos totais contidos nos 25 mL. Extrapolou-se esse valor para 150 mL e então calculou-se o teor de extrativos totais (%) considerando a massa de cascas inicialmente empregada na extração.

Para determinação do teor de taninos condensados, 50 mL do filtrado obtido por meio da extração foi disposto em um balão de fundo chato, adicionando-se 1 mL de ácido clorídrico (HCl) e 4 mL de formaldeído (CH₂O). Essa solução foi mantida sob refluxo por 30 minutos e posteriormente, filtrada em filtro de vidro sinterizado de placa porosa nº 3. Após a filtragem, o filtro foi levado à estufa (103°C ± 2°C) até massa constante. O teor de taninos condensados (%) foi obtido pelo produto do número de Stiasny e teor de extrativos totais, divididos por 100. O número de Stiasny foi calculado conforme a Equação 1.

$$NS (\%) = \frac{\text{Massa de taninos condensados (g)}}{\text{Massa de extrativos totais (g)}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

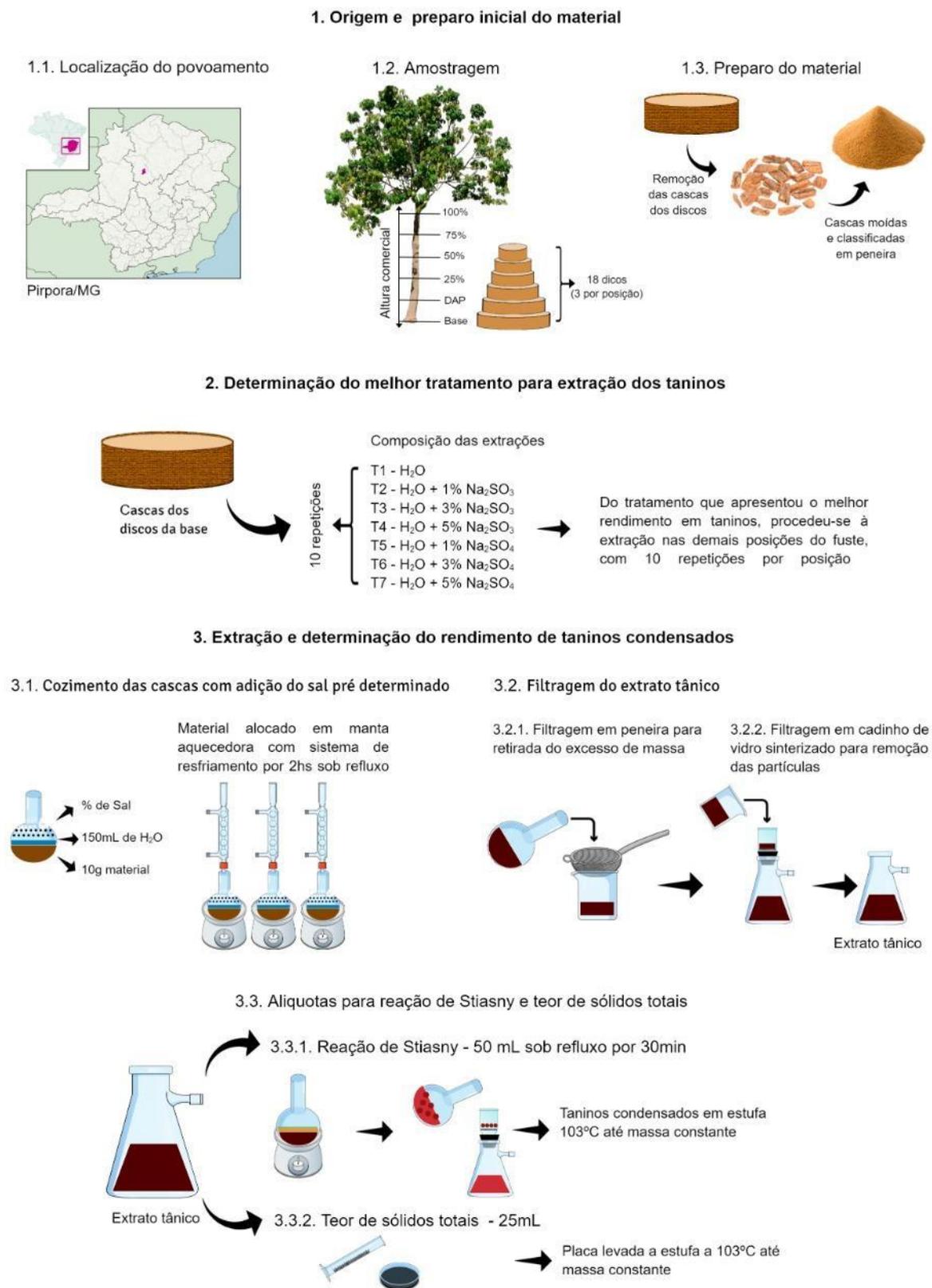
A diferença entre o teor de extrativos totais e o teor de taninos condensados corresponde à percentagem de não-taninos.

Na Figura 1 é apresentado um resumo dos itens 2.1 e 2.2 acima descritos.

2.3. Análise estatística dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os dados foram avaliados quanto às pressuposições de variância comum (homocedasticidade) e normalidade dos erros experimentais por meio dos testes de Cochran e Shapiro-Wilk, respectivamente. Para avaliar o efeito dos tratamentos nos teores de extrativos totais, taninos condensados e não-taninos e no número de Stiasny realizou-se a análise de variância e havendo rejeição da hipótese de igualdade, foi aplicado o teste de Scott Knott ($p < 0,05$) para comparação das médias. As análises foram realizadas a partir do software *SigmaPlot 13.0*. Os dados foram anteriormente transformados em: $\text{arc sen}\sqrt{(x/100)}$.

Figura 1. Resumo metodológico.



Fonte: a autora.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Rendimento tânico

Os valores médios dos teores de extrativos totais, número de Stiasny e dos teores de taninos e não-taninos extraídos de cascas de árvores de mogno africano, referentes à base, com água e adição de diferentes percentuais de sulfito de sódio (Na_2SO_3) e sulfato de sódio (Na_2SO_4) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios do teor de extrativos totais, número de Stiasny, teores de taninos condensados e não-taninos por tratamento

Tratamento	Extrativos totais (%)	Número de Stiany (%)	Taninos condensados (%)	Não-taninos (%)
T1 - Água	11,01 D	52,38 A	5,88 C	5,13 D
T2 - H_2O + 1% Na_2SO_3	13,42 C	56,87 A	7,68 B	5,74 D
T3 - H_2O + 3% Na_2SO_3	17,96 B	56,02 A	10,28 A	7,68 C
T4 - H_2O + 5% Na_2SO_3	22,60 A	23,82 D	5,37 C	17,23 A
T5 - H_2O + 1% Na_2SO_4	11,51 D	47,08 B	5,53 C	5,99 D
T6 - H_2O + 3% Na_2SO_4	13,53 C	39,10 C	5,43 C	8,10 C
T7 - H_2O + 5% Na_2SO_4	15,02 C	34,20 C	5,29 C	9,72 B

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si (Scott Knott, $p \geq 0,05$).

O rendimento em extrativos é o parâmetro inicial na caracterização das substâncias encontradas na casca. Entretanto, nem sempre a forma mais efetiva de obtenção desses extrativos será a mais interessante no que tange o teor de taninos condensados, uma vez que a presença do sal potencializa também a extração de outros compostos (MORI et al., 2003).

A adição dos sais, independente do tratamento, favoreceu o aumento do teor de extrativos totais. Os maiores teores foram observados na extração com sulfito de sódio nas concentrações de 5% e 3% (T4 e T3), respectivamente. Fazendo-se um paralelo desses tratamentos que apresentaram melhores médias de extração aos seus respectivos valores de número de Stiasny, percebe-se uma relação inversamente proporcional, conforme pode ser observado na Tabela 2.

O número de Stiasny representa o percentual de taninos condensados existentes no extrato, pela reação com o formaldeído e ácido clorídrico (VIEIRA; LELIS; RODRIGUES, 2014), sendo este índice um bom indicativo quando objetiva-se a produção de adesivos (AKOTO; OSEI-BREFOH, 2014).

Apesar de T4 apresentar o maior valor de extrativos totais, observou-se nele também o menor número de Stiasny e, conseqüentemente, um baixo valor médio de

taninos condensados. Isso se deve, segundo Gonçalves e Lelis (2001), à maior solubilização de componentes não tânicos como açúcares, aminoácidos e pectinas nos extratos.

Mori et al. (2003) avaliando a influência do sulfito de sódio na quantificação em taninos na casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) também observou que o aumento no rendimento de substâncias não-tânicas ocasionou uma redução no número de Stiasny.

A adição de 3% de sulfito de sódio (T3) ao extrato proporcionou a melhor média de taninos condensados, diferindo-se estatisticamente dos outros tratamentos avaliados. Este resultado encontrado em cascas de mogno africano é interessante e inovador, uma vez que na literatura o maior rendimento em taninos condensados foi conseguido em adições iguais ou superiores a 4,5% de sulfito de sódio.

Carneiro (2002) avaliou o efeito da sulfitação (1,5; 3,0 e 4,5% de Na₂SO₃) em cascas de *E. pellita* e *E. grandis* e certificou que em ambas as espécies os melhores rendimentos em taninos (10,7 e 17,2% respectivamente) ocorreram na extração com 4,5% de sulfito de sódio.

Ao quantificarem o rendimento em taninos extraídos da casca de *Anadenanthera peregrina* com 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0% de Na₂SO₃, Carneiro et al. (2007) atestaram que a extração realizada com 6% de sulfito de sódio apresentou o maior rendimento (23,83%) em substâncias tânicas.

Ferreira et al. (2009) ao avaliarem o potencial das cascas de quatro espécies de pinus como fonte para extração de taninos, comprovaram acréscimo de 6,3% no rendimento da concentração de 2% (16,4%) para 5% (22,7%) de Na₂SO₃.

Carvalho, Lelis e Nascimento (2014) ao estimarem a extração de taninos da casca de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* com 1, 5, 8 e 10% de Na₂SO₃ observaram percentuais de teor de taninos iguais a 12,4, 22,2, 27,5 e 29,9%, respectivamente.

Vieira, Lelis e Rodrigues (2014) ao analisarem as propriedades de extratos aquosos obtidos da casca de *P. oocarpa* sob adição de sulfito de sódio nas concentrações de 1, 3 e 5% comprovaram maior percentagem de taninos (27,1%) na maior concentração do sal.

A extração aquosa de taninos na presença de sulfito é conhecida como sulfitação. Esta reação, utilizada na química dos flavonóides, tornou-se útil na preparação de adesivos à base de taninos, uma vez que além de aumentarem o rendimento dos mesmos durante a extração, contribui na redução da viscosidade dos extratos tânicos e no aumento de sua solubilidade em água (PIZZI; MITTAL, 1994), o que favorece a

aplicabilidade e penetração dos adesivos na estrutura da madeira, melhorando assim a qualidade da colagem.

Os não-taninos correspondem às frações de açúcares e outros extrativos não fenólicos presentes nos extratos da casca. A maior quantidade de não-taninos foi observada no T4, composto por água destilada + 5% de sulfito de sódio. O aumento da concentração de Na₂SO₃ em cascas de mogno africano favoreceu demasiadamente a extração de não-taninos quando comparada ao percentual de taninos condensados (Tabela 2). Em razão do seu alto peso molecular, os não-taninos influenciam negativamente a qualidade do adesivo, contribuindo para o aumento da sua viscosidade e, conseqüentemente, reduzindo a eficiência da colagem e a resistência na linha de cola (PIZZI; MITAL, 1994; TAIWO; OGUNBODEDE, 1995; VIEIRA; LELIS; RODRIGUES, 2014).

De modo geral, o sulfato de sódio apresentou os menores valores de extração de taninos, inclusive quando comparado à extração somente em água (Tabela 2). O percentual de não-taninos sobressaiu em relação à percentagem de taninos condensados e foi crescente à medida que a concentração desse sal se elevou, não sendo, portanto, eficiente na extração de taninos em cascas de mogno africano.

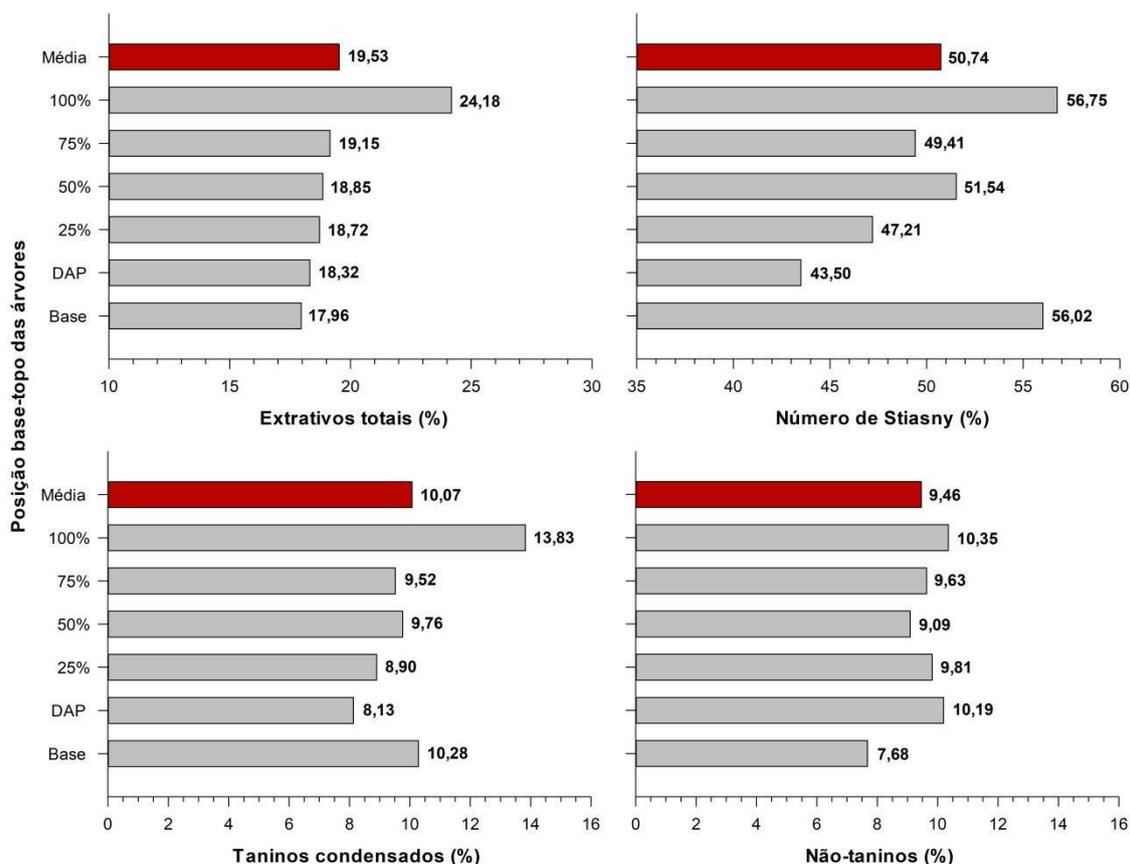
3.2. Variação longitudinal dos taninos no fuste

Tendo em vista que a adição de sulfito de sódio na concentração de 3% apresentou o melhor desempenho percentual de taninos condensados, bem como do número de Stiasny, bom rendimento em extrativos totais e baixa percentagem de não-taninos em relação aos demais tratamentos, procedeu-se desta forma a extração tânica das cascas nas demais posições do fuste (Figura 2).

O valor percentual médio de taninos condensados em cascas de mogno africano, levando-se em consideração as seis posições de amostragem das cascas, correspondeu a 10,07%.

Traore et al. (2015) realizaram uma triagem fotoquímica do extrato bruto obtido de cascas do tronco de *K. grandifoliola*, provenientes da Costa do Marfim, e o teor de taninos per fez 21,4%. Akoto e Osei-Brefoh (2014) também quantificaram a percentagem de taninos em cascas de *K. senegalensis*, da região de Gana, e obtiveram valor médio igual a 24,16%.

Figura 2. Valores médios dos teores de extrativos totais, taninos condensados e não-taninos e do número de Stiasny, em extração sob adição de 3% de Na₂SO₃, no sentido longitudinal do fuste



Fonte: a autora.

Taiwo e Ogunbodede (1995) estimaram em 23,6% a percentagem de taninos existentes em cascas de árvores de *K. ivorensis*, na Nigéria, com vistas à produção de adesivos. Os autores constataram que os taninos podem substituir o fenol em adesivos sintéticos e ainda reiteraram que uma melhoria na viscosidade do adesivo e na resistência da junta colada foi observada após a incorporação de formaldeído ao adesivo.

Para obtenção de composições adesivas, os taninos condensados são normalmente misturados com formaldeído, paraformaldeído ou hexametilenotetramina (agentes ligantes ou endurecedores), uma vez que eles sozinhos apresentam baixa capacidade de ligação (ALMEIDA, 2010). De acordo Pizzi (1983) os taninos condensados necessitam de baixas quantidades de formaldeído para cura e podem formar linhas de cola altamente resistentes à ação de intempéries.

Lestari et al. (2015) obtiveram 24% de taninos condensados em extrações de cascas de mogno (*Swietenia* sp.), na Indonésia, e utilizaram este bioadesivo na fabricação de madeira lamelada colada (*glulam*) de três espécies de rápido crescimento.

Ao avaliarem as propriedades físico-mecânicas dos elementos colados, os autores certificaram que o adesivo de tanino de cascas de mogno, com adição de 10% de formaldeído, e o MDI (metileno difenil diisocianato) não se diferiram em qualidade para a fabricação de glulam. É importante salientar também que os *glulams* tiveram baixas emissões de formaldeído.

Já é conhecido que a quantidade de taninos altera conforme o desenvolvimento da árvore e varia sazonalmente entre órgãos e tecidos em resposta a fatores bióticos e abióticos, incluindo ataque de patógenos, estresse hídrico, temperatura, composição do solo, além de sua variação em relação às características genéticas e às técnicas silviculturais e de manejo utilizadas nos povoamentos (PAES et al. 2010; ENGEL, 2017; ZHANG et al., 2020; SILVA et al. 2021), o que pode justificar a menor percentagem encontrada neste trabalho.

Com a amostragem utilizada, observou-se um aumento na percentagem de taninos condensados no sentido base-topo do fuste das árvores (Figura 2). Poucos estudos foram realizados buscando conhecer essa variação ao longo do tronco e quando houve tratou-se da acácia-negra (*Acacia mearnsii*), espécie amplamente empregada na produção comercial de taninos e cultivada desde o século XX na região sul do Brasil.

Silva et al. (1985) determinaram o teor de taninos condensados nas cascas de árvores de *Acacia mearnsii* em diferentes alturas do fuste, de metro a metro, e perceberam que a quantidade diminuía para as extremidades. Porém na base o percentual de taninos foi maior (15,7%) comparado ao topo (12,9%).

Caldeira et al. (1998) quantificaram a concentração média do teor de taninos condensados em cascas de árvores de *Acacia mearnsii* em três posições da altura total do tronco (25, 50 e 75%) e constataram uma redução do teor de taninos da base para o topo das árvores: 13,2; 12,4 e 11,9%, respectivamente.

A mesma tendência dos autores acima citados foi comprovada por Camillo et al. (1998), também em árvores de *Acacia mearnsii*, ao amostrarem a concentração de taninos das cascas em 6 posições do tronco (base, DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura total), com média geral igual a 15,5%. Com o estudo propuseram ainda, que, a concentração média de taninos presente na casca das árvores do povoamento poderia ser determinada tomando como base uma única altura de amostragem a 40% da altura total da árvore.

O resultado ora conflitante com outros estudos pode estar relacionado à época de colheita das árvores utilizadas neste trabalho. De acordo Pennington, Styles e Taylor (1981) as espécies do gênero *Khaya* são caracterizadas como árvores decíduas, ou seja,

que perdem suas folhas em determinada estação do ano. Geralmente isso ocorre no outono e no inverno, o que coincidiu com a época em que as amostras deste estudo foram coletadas, isto é, no mês de julho.

Os taninos são substâncias móveis e agem conforme a árvore é submetida a condições adversas e, com a queda das folhas, os taninos podem ter se deslocado para as porções mais altas do tronco, próximas à copa, justificando a maior percentagem em rendimento de taninos no topo quando comparado à base, assim como observado por Azêvedo et al. (2017) em estudo com jurema-preta, espécie nativa do semiárido brasileiro.

4. CONCLUSÕES

O maior rendimento em taninos condensados foi obtido na extração com adição de 3% de sulfito de sódio.

O teor de taninos condensados aumentou no sentido base-topo do fuste.

Estudos referentes à caracterização química do extrato tânico, obtido de cascas provenientes de desbaste, em conjunto com o levantamento da proporção casca/lenho e volume de casca por hectare de *Khaya grandifoliola* devem ser realizados para levar a conclusões que permitam recomendar o emprego dessa espécie como fonte de matéria-prima tanante para a produção de adesivos.

5. REFERÊNCIAS

AKOTO, O.; OSEI-BREFOH, A. Quality of oleoresinous wood varnish prepared using resin synthesized from tannin extracted from stem bark of *Khaya senegalensis*. **Asian Journal of Applied Sciences**, v. 2, n. 1, p. 61-66, 2014.

ALMEIDA, R. R. **Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlttdl.** 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

AMARI, M.; KHIMECHE, K.; HIMA, A.; CHEBOUT, R.; MEZROUA, A. Synthesis of green adhesive with tannin extracted from eucalyptus bark for potential use in wood composites. **Journal of Renewable Materials**, v.9, n.3, p. 463-475, 2021.

ARAUJO, E. S.; LORENÇO, M. S.; ZIDANES, U. L.; SOUSA, T. B.; MOTA, G. S.; REIS, V. N. O.; SILVA, M. G.; MORI, F. A. Quantification of the bark *Myrcia eximia* DC tannins from the Amazon rainforest and its application in the formulation of natural adhesives for wood. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, n. 1, 124324, 2021.

AUAD, P.; SPIER, F.; GUTTERRES, M. Vegetable tannin composition and its association with the leather tanning effect. **Chemical Engineering Communications**, v. 207, n. 5, p. 722-732, 2020.

AZEVÊDO, T. K. B. de; PAES, J. B.; CALEGARI, L.; SANTANA, G. M. Teor de taninos condensados presente na casca de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) em função das fenofases. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00026613, 2017.

BELLOA, A.; VIRTANENB, V.; SALMINENB, J-P.; LEIVISKÄÄ, T. Aminomethylation of spruce tannins and their application as coagulants for water clarification. **Separation and Purification Technology**, v. 242, p. 1-9, 116765, 2020.

BOUSSETTA, A.; ABLOUH, E-H.; BENHAMOU, A. A.; TAOURIRTE, M.; MOUBARIK, A. Valorization of Moroccan brown seaweeds: Elaboration of formaldehyde-free particleboards based on sodium alginate-corn-starch - Mimosa tannin wood adhesives. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 108, 102894, 2021.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SANTOS, E. M.; VIEGAS, J.; PEREIRA, J. C. Quantificação de tanino em três povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 37, p. 81-88, 1998.

CAMILLO, S. B. A.; SCHNEIDER, P. R.; SILVA, M. C. M.; FRIZZO, S. M. B. Determinação do ponto de amostragem para a obtenção da concentração média de tanino em acácia. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 109-113, 1998.

CARLQVIST, K.; ARSHADI, M.; MOSSING, T.; ÖSTMAN, U-B.; BRÄNNSTRÖM, H.; HALMEMIES, E.; NURMI, J.; GUNNAR, L.; BÖRJESSON, P. Life-cycle assessment of the production of cationized tannins from Norway spruce bark as flocculants in wastewater treatment. **Biofuels, Bioproducts, Biorefining**, v. 14, p. 1270-1285, 2020.

CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da sulfitação dos taninos de *E. grandis* e *E. pellita* para produção de chapas de flocos.** 2002. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, A. F. N. M.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; PINHEIRO, M. A. Parâmetros cinéticos de adesivos produzidos a partir de taninos de *Anadenanthera peregrina* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 767-775, 2012.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U.; MOREIRA, A. B.; DAMBROZ, C. S. Efeito do sulfito de sódio na extração de tanino da casca de *Anadenanthera peregrina*. **Floresta e Ambiente**, v.14, n.1, p. 65-69, 2007.

CARVALHO, A. G.; LELIS, R. C. C.; NASCIMENTO, A. M. avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 479-489, 2014.

CHEN, X.; PIZZI, A.; FREDON, E.; GERARDIN, C.; LI, J.; ZHOU, X.; DU, G. Preparation and properties of a novel type of tannin-based wood adhesive. **The Journal of Adhesion**, 2020.

CHOW, S. Adhesive developments in forest products. **Wood Science and Technology**, v. 17, p. 1-11, 1983.

ENGEL, M. L. **Resgate e propagação vegetativa por estaquia e miniestaquia de *Acacia mearnsii* De Wildeman (Acácia negra)**. 2017. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

FERREIRA, E. S.; LELIS, R. C. C.; BRITO, E. O.; NASCIMENTO, A. M.; MAIA, J. L. S. Teores de taninos da casca de quatro espécies de pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 16, n. 2, p. 30-39, 2009.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C. Teores de taninos da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 167-173, 2001.

GONÇALVES, F. G.; CHAVES, I. L. S.; FASSARELLA, M. V.; BRITO, A. S.; SILVA, E. S. G. da; LÓPEZ, Y. M.; OLIVEIRA, R. E. G. de. Extracción de taninos de la corteza de *Pinus* spp tratada térmicamente - aplicación como adhesivo. **Madera y Bosques**, v. 27, n. 1, e271241, 2021.

GUANGCHENG, Z.; YUNLU, L.; YAZAKI, Y. Extractive yields, stiasny values and polyflavonoid contents in barks from six acacia species in Australia. **Australian Forestry**, v. 54, p. 154-156, 1991.

ISMAIL, A. R.; NORDDIN, M. N. A. M.; LATEFI, N. A. S.; OSEH, J. O.; ISMAIL, I.; GBADAMOSI, A. O.; AGI, A. J. Evaluation of a naturally derived tannin extracts biopolymer additive in drilling muds for high-temperature well applications. **Journal of Petroleum Exploration and Production Technology**, v. 10, p. 623-639, 2020.

JORGE, F. C.; BRITO, P.; PEPINO, L.; PORTUGAL, A.; GIL, H.; COSTA, R. P. Aplicações para as cascas de árvores e para os extractos taninosos: uma revisão. **Silva Lusitana**, v. 9, n. 2, p. 225-236, 2001.

LESTARI, A. S. R. D.; HADI, Y. S.; HERMAWAN, D.; SANTOSO, A. Glulam properties of fast-growing species using mahogany tannin adhesive. **BioResources**, v. 10, n. 4, p. 7419-7433, 2015.

LOPES, P.J.G.; CALEGARI, L.; MEDEIROS SILVA, W. A. de; GATTO, D. A.; MEDEIROS NETO, P. N. de; MELO, R. R. de; BAKKE, I. A.; DELUCIS, R. de A.; MISSIO, A. L. Tannin-based extracts of *Mimosa tenuiflora* bark: features and prospecting as wood adhesives. **Applied Adhesion Science**, v. 9, n. 3, p. 1-16, 2021.

MOCCIA, F.; PISCITELLI, A.; GIOVANDO, S.; GIARDINA, P.; PANZELLA, L.; D'ISCHIA, M.; NAPOLITANO, A. Hydrolyzable vs. condensed wood tannins for bio-based antioxidant coatings: superior properties of quebracho tannins. **Antioxidants**, v. 9, n. 804, p. 1-12, 2020.

MORI, F. A.; MORI, C. L. S. O.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; MELO, V. M. Influência do sulfito e hidróxido de sódio na quantificação em taninos da casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*). **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 1, p. 86-92, 2003.

MYERS, G. E. Formaldehyde emission from particleboard and plywood paneling: measurement, mechanism, and product standards. **Forest Products Journal**, v. 33, n. 5, p. 27-37, 1983.

OKTAY, S.; KIZILCAN, N.; BENGÜ, B. Development of bio-based cornstarch - Mimosa tannin - sugar adhesive for interior particleboard production. **Industrial Crops and Products**, v. 170, 113689, 2021.

PAES, J. B.; SANTANA, G. M.; AZEVEDO, T. K. B.; MORAIS, R. M.; CALIXTO JÚNIOR, J. T. Substâncias tânicas presentes em várias partes da árvore angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. *cebil* (Gris.) Alts.). **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 441-447, 2010.

PENNINGTON, T. D.; STYLES, B. T; TAYLOR, D. A. H. **Meliaceae**. New York: The New York Botanical Garden, 1981. 470p.

PIZZI, A. **Wood adhesives**: chemistry and technology. New York: Marcell Dekker, 1983. 364p.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 1994. 680p.

QUEIROZ, C. R. A. dos A.; MORAES, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 485-492, 2002.

SAIN, MATSAKAS, L.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P.; ÖMAN, T.; SKRIFVARS, M. Spruce bark-extracted lignin and tannin-based bioresin-adhesives: Effect of curing temperatures on the thermal properties of the resins. **Molecules**, v. 26, n. 12, 3523, 2021.

SANTIAGO, S. B.; GONÇALVES, F. G.; PAES, J. B.; LELIS, R. C. C.; VIDAURRE, G. B.; ARANTES, M. D. C. Condensed tannins extracted from *Eucalyptus* bark waste. **Floresta**, v. 49, n. 1, p. 049-056, 2019.

SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B. Propriedades da madeira do mogno-africano (*Khaya* spp.). In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Org.). **Mogno-africano (Khaya spp.)**: atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2019. p. 287-362.

- SILVA, J. L.; GUIM, A.; FERREIRA, M. A.; SOARES, L. F. P. Forragens taniníferas na produção de caprinos e ovinos. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 252, p. 605-614, 2016.
- SILVA, J. R.; MATOS, D. S.; BOARETTO, A. G.; CAROLLO, C. A.; OLIVEIRA, L. C. S.; DIAS, E. S.; DAMASCENO JUNIOR, G. A.; ARRUDA, R. C. O. Fire tolerance strategies in woody species from Pantanal riparian forests involve phenolic compounds and structure of the inner bark. **Flora**, v. 281, p. 1-10, 2021.
- SILVA, M. C. M.; FRIZZO, S. M. B.; VINADE, E. C.; WEILER, A. R. Determinação de tanino na casca de *Acacia mearnsii* Wild., em diferentes alturas do tronco. **Ciência e Natura**, n. 7, p. 57-61, 1985.
- SOUSA, T. B.; MOTA, G. S.; ARAUJO, E. S.; CARRÉRA, J. C.; SILVA, E. P.; SOUZA, S. G.; LORENÇO, M. S.; FERREIRA, V. R. F.; MORI, F. A. The bark of *Stryphnodendron rotundifolium* as a source of phenolic extracts with antioxidant properties. **Wood Science and Technology**, v. 55, p. 1057-1074, 2021.
- TAIWO, E. A.; OGUNBODEDE R. A. Production of tannin adhesives from Nigerian trees. **Wood Science and Technology**, v. 29, p. 103-108, 1995.
- TRAORE, L.; BEKRO, Y. A.; PIRAT, J. L.; MAMYRBEVA-BEKRO, J. A. Study of crude extracts from *Cassia sieberiana* root bark and *Khaya grandifoliola* trunk bark: phytochemical screening, quantitative analysis and radical scavenging activity. **International Journal of Current Pharmaceutical Research**, v. 7, n. 3, p. 22-26, 2015.
- TRUGILHO, P. F.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; CARDOSO, D. P. Determinação do teor de taninos na casca de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 9, n. 2, p. 246-254, 2003.
- VIEIRA, M. C.; LELIS, R. C. S.; SILVA, B. C.; OLIVEIRA, G. L. Tannin extraction from the bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* with sodium carbonate and sodium bisulfite. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n.1, p. 1-8, 2011.
- VIEIRA, M. C.; LELIS, R. C. S.; RODRIGUES, N. D. Propriedades químicas de extratos tânicos da casca de *Pinus oocarpa* e avaliação de seu emprego como adesivo. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 47-54, 2014.
- VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 571-582, 2004.
- ZHANG, L.; ZHANG, S.; YE, G.; QIN, X. Seasonal variation and ecological importance of tannin and nutrient concentrations in *Casuarina equisetifolia* branchlets and fine roots. **Journal of Forestry Research**, v. 31, p. 1499-1508, 2020.
- ZIDANES, U. L.; DIAS, M. C.; LORENÇO, M. S.; ARAUJO, E. S.; SILVA, M. J. F.; SOUSA, T. B.; FERREIRA, S. R.; UGUCIONI, J. C.; TONOLI, G. H. D.; BIANCHI, M. L.; MORI, F. A. Preparation and characterization of tannin-based adhesives reinforced with cellulose nanofibrils for wood bonding. **Holzforschung**, v. 75, n. 2, p. 159-167, 2021.

6. CONCLUSÕES GERAIS

A madeira de mogno africano (*K. grandifoliola*) avaliada, proveniente de desbaste aos 10 anos de idade e nas dadas condições de crescimento das árvores, possui grande potencial de utilização no setor moveleiro, na fabricação de artesanatos e utensílios domésticos, na construção civil leve interna e em usos que não exijam grandes resistências mecânicas.

A espécie demonstra ainda potencialidade para a confecção de produtos colados, bem como para a produção de painéis aglomerados.

Em relação à extração de taninos, estudos referentes à caracterização química do extrato tânico devem ser realizados de modo a permitirem recomendações quanto ao emprego dessa espécie como fonte de matéria-prima tanante para a produção de adesivos.