



**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE DESBASTE DE *Khaya ivorensis* A. Chev
PARA FABRICAÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP)**

NILIANE PEREIRA CAMPOS

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE DESBASTE DE *Khaya ivorensis* A. Chev
PARA FABRICAÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP)**

ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA/DF

2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE DESBASTE DE *Khaya ivorensis* A. Chev PARA
FABRICAÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP)”

NILIANE PERERIRA CAMPOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

Prof. Dr. CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI (Departamento de Engenharia Florestal - EFL/UnB);
(Orientador)

Prof. Dr. JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ (Departamento de Engenharia Florestal - EFL/UnB);
(Examinador Interno)

Prof. Dr. CARLOS ROBERTO SETTE JÚNIOR (Universidade Federal de Goiás - UFG);
(Examinador Externo)

Prof. Dr. ALESSANDRO CÉZAR DE OLIVEIRA MOREIRA (Laboratório de Produtos Florestais - LPF);
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 06 de março de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

C198u	Campos, Niliane Pereira Utilização da madeira de desbaste de <i>Khaya ivorensis</i> A. Chev para fabricação de painel colado lateralmente (EGP) / Niliane Pereira Campos; orientador Cláudio Henrique Soares Del Menezzi. -- Brasília, 2020. 73 p. Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, 2020. 1. Mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>). 2. Painel Colado Lateralmente (EGP). 3. Colagem. 4. Acabamento. I. Del Menezzi, Cláudio Henrique Soares, orient. II. Título.
-------	--

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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

CESSÃO DE DIREITOS

Autor: Niliane Pereira Campos

Título: Utilização da madeira de desbaste de *Khaya ivorensis* A. Chev para fabricação de painel colado lateralmente (EGP).

Grau: Mestre

Ano: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para produzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser produzida sem autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por nunca desistir de mim.

Aos meus pais Nilo e Ana Maria, meus irmãos Cristian Kely e Wilker, minha cunhada Daniella e minha sobrinha Mariah, que se fizeram presentes mesmo na distância e nunca mediram esforços para que eu pudesse concretizar meus objetivos.

Ao meu companheiro Sergio, pelo amor e por sempre sonhar meus sonhos.

A todos os amigos que já faziam parte da minha vida e aos que conquistei ao longo dessa jornada, tornando-a mais leve e feliz, em especial à Paloma, Maira Beatriz, Adrianna, Myla, Carlos Magno, Juliano e Larissa. A também amiga Mirian Costa por me presentear com sua alegria, dedicação e ensinamentos.

Ao meu professor e orientador Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, pelo conhecimento transferido, pelo comprometimento e apoio.

A todos os professores que instruem, torcem e tanto ensinam.

A Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Riberio e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGEFL) pelo acolhimento e formação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Ao Dr. Flávio Rocha por disponibilizar a madeira de *Khaya ivorensis*, tornando possível o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao professor Dr. Carlos Roberto Sette Júnior pelo incentivo e ensinamentos.

Ao Setor de Engenharia física da madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), por disponibilizar sua estrutura e equipamentos para a execução das atividades. Ao Divino Eterno e Peter Wimmer pela amizade e compartilhamento de conhecimento e experiência.

RESUMO

UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE DESBASTE DE *Khaya ivorensis* A. Chev PARA FABRICAÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP).

Autor: Niliane Pereira Campos

Orientador: Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, março de 2020

A madeira de *Khaya ivorensis* A. Chev (mogno africano) possui elevada durabilidade, fácil manuseio e secagem. O corte raso ocorre a partir dos 15 anos de idade, entretanto, quanto menor a idade, menor seu valor comercial, devido a suas dimensões, propriedades físicas e mecânicas. O Painel colado lateralmente (EGP) é uma excelente alternativa para agregar valor a esse tipo de material, já que permite ser confeccionado a partir de árvores de pequenos diâmetros oriundos de primeiro desbaste de reflorestamentos e de peças com pequenos defeitos, etc. Com base nisto, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes adesivos (PVAc e PUR), pressões de montagem (0,7 e 1,0 MPa) e preparações da superfície (lixa e plaina) sobre a resistência de colagem da madeira de desbaste de *K. ivorensis* e avaliar o efeito de diferentes preparações de superfície sobre a aderência de filme de acabamento desta madeira. Para o estudo, foram abatidas nove árvores com uma média de 25 cm de DAP. Utilizou-se tábuas nas dimensões de 1,5 m de comprimento, 50 mm de espessura e larguras variadas. Foram avaliados oito tratamentos para testar a resistência da madeira ao cisalhamento, dois tratamentos para avaliar a resistência da madeira à flexão estática e dois tratamentos para analisar a aderência de filme de acabamento à superfície da madeira de *K. ivorensis*. Constatou-se, em uma análise geral, que os corpos de prova colados com o adesivo PVAc apresentaram maior resistência ao cisalhamento em relação ao adesivo PUR e resistência foi maior utilizando-se a lixa para preparação da superfície e pressão 0,7 MPa. O PVAc também produziu juntas mais resistentes quando submetidas ao ensaio de flexão estática. A madeira de *K. ivorensis* comportou-se adequadamente em relação à aderência do filme de acabamento. Diante do exposto, concluiu-se que a madeira de desbaste de *K. ivorensis* pode ser utilizada para a produção de EGP.

Palavras-chave: Adesivos, acabamento de superfície, cisalhamento, EGP, flexão estática, mogno africano.

ABSTRACT

USE OF *Khaya ivorensis* A. Chev THINNING WOOD FOR MANUFACTURING EDGE GLUED PANEL (EGP)

Khaya ivorensis A. Chev wood (African mahogany) has high durability, easy handling and drying. The ideal period for clear cutting occurs from 15 years of age, however, the lower the age, the lower its commercial value, due to its dimensions, physical and mechanical properties. The edge glued panel (EGP) is an excellent alternative to add value to this type of material, as it allows it to be made from trees of small diameters from the first thinning of reforestation and parts with small defects, etc. Based on this, the present work aimed to evaluate the effect of different adhesives (PVAc and PUR), assembly pressures (0.7 and 1.0 MPa) and surface preparations (sandpaper and planer) on the bond strength of wood thinning of *K. ivorensis* wood and to evaluate the effect of different surface preparations on the adhesion of the finishing film of this wood. Nine trees with an average of 25 cm of DBH were felled. Boards with dimensions of 1.5 m in length, 40 mm in thickness and varied widths were used. Eight treatments were evaluated to test the resistance of the wood to shear, two treatments to evaluate the resistance of the wood to static bending and two treatments to analyze the adherence of finishing film to the surface of *K. ivorensis* wood. It was found, in a general analysis, that the specimens bonded with the PVAc adhesive showed greater shear strength compared to the PUR adhesive and the strength was greater using the sandpaper for surface preparation and pressure 0.7 MPa. PVAc also produced stronger and stiffer joints when subjected to the static bending test. *K. ivorensis* wood behaved adequately in relation to the adhesion of the finishing film. In this context, it was concluded that the thinning wood of *K. ivorensis* can be used for the production of EGP.

Keywords: Adhesives, African mahogany, EGP, shear, surface finish, static bending.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE FIGURAS	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. HIPÓTESE.....	3
3. OBJETIVO GERAL.....	3
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
4.1 <i>KHAYA IVORENSIS</i>	4
4.2 PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP).....	6
4.3 JUNTAS DE MADEIRA (<i>FINGER JOINT</i>).....	8
4.4 ADESIVOS.....	9
4.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DA COLAGEM.....	12
4.6 USINAGEM E ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA	14
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PLANTIO.....	16
5.2 AMOSTRAGEM E DESDOBRO DAS TORAS.....	16
5.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA....	17
5.4 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	20
5.4.1 Preparação das peças para teste de resistência ao cisalhamento da madeira sólida	20
5.4.2 Preparação e colagem das peças para testes de resistência a colagem lateral	21
5.4.3 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola.....	23
5.4.4 Preparação e colagem das peças para teste de resistência à colagem longitudinal (<i>finger joint</i>)	24

5.4.5	Ensaio de resistência à flexão estática	25
5.4.6	Preparação das peças e aplicação do filme de acabamento para testes de aderência	27
5.4.7	Ensaio de aderência do filme de acabamento	29
5.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1	PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE <i>KHAYA IVORENSIS</i> . 31	
6.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE <i>KHAYA IVORENSIS</i>	34
6.2.1	Análise da resistência ao cisalhamento da madeira sólida e colada	34
6.2.2	Análise fatorial da resistência ao cisalhamento da madeira colada	38
6.2.3	Efeito das variáveis sob o adesivo.....	39
6.2.4	Porcentagem de falha na madeira	42
6.2.5	Análise estatística da resistência à flexão estática	45
6.2.6	Aderência do filme de acabamento.....	48
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
8.	RECOMENDAÇÕES	51
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos adesivos conforme ambiente de uso	10
Tabela 2. Propriedades físicas dos adesivos e condições de prensagem (TITEBOND, 2019; KLEIBERIT, 2019).....	21
Tabela 3. Descrição dos tratamentos avaliados em teste de resistência a colagem.....	23
Tabela 4. Tratamento para o teste de resistência à colagem longitudinal.....	26
Tabela 5. Tratamentos para o teste de acabamento.....	28
Tabela 6. Graduação da área ensaiada (NBR 14535, 2000)	30
Tabela 7. Valores médios de contração radial, tangencial e longitudinal, contração volumétrica e coeficiente anisotrópico da madeira de <i>Khaya ivorensis</i>	33
Tabela 8. Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de <i>Khaya ivorensis</i> a 12% de umidade, procedentes de diferentes locais.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corte e desdobro da madeira: A) Perfil da floresta de <i>Khaya ivorensis</i> ; B) Toras seccionadas a 1,5 metros e devidamente direcionadas ao desdobro; C) Retirada das costaneiras com o auxílio da motosserra; D) Retirada das tábuas utilizando serra circular.....	17
Figura 2. Dimensão dos corpos de prova da madeira sólida segundo a norma ASTM 143-2000 (ASTM 143, 2000).....	20
Figura 3. Teste de resistência ao cisalhamento na madeira sólida utilizando maquina universal de ensaios.....	21
Figura 4. Processo de colagem da madeira: A) Distribuição do adesivo PVAc na superfície da madeira a ser colada; B) Distribuição do adesivo PUR; C) Prensagem da madeira em prensa hidráulica à frio.....	22
Figura 5. Dimensão dos corpos de prova segundo a norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado).....	23
Figura 6. Teste de resistência ao cisalhamento na madeira colada utilizando maquina universal de ensaios.....	24
Figura 7. Avaliação do percentual de falha na madeira colada após ensaio de resistência ao cisalhamento, utilizando lâmina transparente como gabarito....	24
Figura 8. Confecção dos <i>finger joint</i> : (A) Conjunto de fresas; (B) Geometria dos dentes que formaram o conjunto do tipo <i>finger joint</i>	25
Figura 9. Colagem de peças para ensaio de flexão estática: A) Aplicação do adesivo utilizando espátula de madeira para distribuição uniforme; B) Encaixe das peças formando conjunto macho e fêmea; C) Prensagem das peças coladas em prensa hidráulica a frio.....	25
Figura 10. Orientação do corpo de prova durante teste de resistência à flexão estática segundo a norma ASTM D5572 (ASTM D5572, 1995).....	26
Figura 11. Ensaio de resistência à flexão estática em máquina universal de ensaios (EMIC). A força exercida pela máquina de ensaios sob o CP é distribuída em dois pontos próximos ao <i>finger joint</i>	26

Figura 12. Processo de lixamento da superfície da madeira, utilizando lixadeira semimanual.....	28
Figura 13. Aplicação de filme de acabamento na superfície da madeira: (A) Preparação do filme de acabamento nas proporções específicas; (B) Aplicação do filme de acabamento com o auxílio de uma pistola.....	29
Figura 14. Ensaio de aderência do filme de acabamento da madeira: Cortes superficiais na madeira com filme de acabamento utilizando estilete e grade de acrílico; (B) Detalhes dos cortes superficiais na madeira que recebeu filme de acabamento.....	29
Figura 15. Valores médios da tensão de ruptura (MPa) e desvio padrão de cada tratamento. Linha horizontal representa o valor de resistência mínimo exigido pela norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado)	35
Figura 16. Valores da tensão de ruptura de cada CP dentro do seu respectivo tratamento (MPa). Linha horizontal representa o valor de resistência mínimo exigido pela ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado)	37
Figura 17. Valores médios da tensão de ruptura de acordo com o adesivo, preparação da superfície e a pressão	38
Figura 18. Valores médios da tensão de ruptura e desvio padrão das variáveis preparação da superfície e pressão em relação ao adesivo PVAc	39
Figura 19. Interação entre a preparação de superfície e pressão sobre resistência do adesivo PVAc.....	39
Figura 20. Valores médios da tensão de ruptura e desvio padrão das variáveis preparação da superfície e pressão em relação ao adesivo PUR.....	40
Figura 21. Efeito da preparação de superfície e pressão sobre o adesivo PUR	41
Figura 22. Percentual de falha na madeira de cada tratamento e o valor exigido pela norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999)	42
Figura 23. Percentual de falha na madeira de cada corpo de prova e o valor exigido pela norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999).....	44
Figura 24. Valores médios do módulo de ruptura na flexão estática das peças em relação ao tipo de adesivo utilizado	45

Figura 25. Módulo de ruptura na flexão estática de cada corpo de prova colado com adesivo PVAc e o valor exigido pela norma ASTM D5572 (ASTM D5572, 1995)	46
Figura 26. Módulo de ruptura na flexão estática de cada corpo de prova colado com adesivo PUR e o valor exigido pela norma ASTM D5572 (ASTM D5572, 1995)	46
Figura 27. Valores médios do módulo de elasticidade na flexão estática em relação ao tipo de adesivo utilizado na colagem das peças.....	47
Figura 28. Resultados médios e desvio padrão de cada tratamento.....	48
Figura 29. Frequência de graduação de aderência do filme de acabamento dos tratamentos	49
as com o auxílio da motosserra; D) Retirada das tábuas utilizando serra circular	17

1. INTRODUÇÃO

O consumo de madeira tem se expandido, instigando o cultivo de inúmeras espécies e o desenvolvimento de pesquisas que apontem melhor aproveitamento deste recurso. Espécies que não ocupavam a lista de potencial madeireiro podem ser melhor aproveitadas através da aplicação de tecnologias e pesquisas específicas.

A madeira oriunda de florestas plantadas é destinada à produção de pisos laminados, carvão vegetal e biomassa e à inúmeros outros produtos. O Brasil encontra-se entre os maiores produtores de madeira para energia, serrados, celulose e papel e painéis, conferindo inegável contribuição para a balança comercial brasileira, figurando entre os maiores produtores e exportadores mundiais de produtos florestais (FAO, 2019).

Em 2018, o Brasil totalizou uma área de 7,83 milhões de hectares de reflorestamento (IBÁ, 2019a). Desse total, a maior parte era representada pelo Eucalipto, seguido do Pinus. Com os avanços ocorridos no setor florestal, diversas outras espécies vêm ganhando espaço neste cenário, como é o caso da Teca (*Tectona grandis*), Acácia (*Acacia mangium* e *Acacia mearnsii*), Seringueira (*Hevea brasilienses*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e o Mogno africano (*Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis*).

O Mogno africano é uma das madeiras nobres mais rentáveis para investidores e produtores rurais, quando aplicado manejo e tecnologia de utilização adequados. Seu cultivo se difunde cada vez mais, devido à crescente demanda do mercado brasileiro por madeira de qualidade e alternativas ao uso ilegal de árvores nativas. A madeira de mogno africano permite diversos usos, como, na construção naval, para movelaria e arquitetura de interiores, produção de lâminas decorativas, instrumentos musicais, devido a sua elevada durabilidade natural, boa trabalhabilidade, fácil manuseio e secagem e beleza (SILVA et al., 2016).

O *Khaya ivorensis* é a espécie de Mogno africano mais cultivado no Brasil, podendo ser abatidas para fins sólidos, a partir de 15 anos de idade (KLEIN et al., 2016). Porém, até o corte raso desta madeira, é necessário que seja realizado desbaste em determinados períodos do seu desenvolvimento, a fim de deixar apenas as árvores que estão mais bem formadas, com fustes retilíneos para que obtenham maior crescimento em DAP. O desbaste ocorre,

geralmente, entre o 2º e 4º ano, no 7º ano, entre o 10º e 12º ano e o corte raso é realizado entre o 15º e 20º ano, conforme desenvolvimento da floresta e do seu uso final. A cada desbaste, a madeira é destinada conforme sua condição tecnológica. Porém, um fator limitante relacionado à madeira de primeiros desbastes está na ausência de alternativas de aplicação para este material, pois, quanto menor a idade, menor seu valor comercial, já que a madeira retirada, geralmente, possui menor diâmetro, maiores deformações e maior quantidade de madeira juvenil. A madeira juvenil por sua vez, é um material que apresenta menor espessura da parede celular, menor proporção de lignina e celulose, densidade baixa e menor resistência mecânica, o lenho de reação e a contração longitudinal são maiores, conforme afirmam Bendtsen (1978), Senft et al. (1985) e Silva (2002a), tornando-se comum a presença de fendas e rachaduras, limitando seu uso para fins mais valiosos.

Uma excelente alternativa para aproveitamento da madeira de primeiros desbastes é a confecção de Painel Colado Lateralmente, também conhecido como Edge Glued Panel (EGP). Este tipo de painel é formado pela união de sarrafos a partir da madeira serrada e unidos através de ligações adesivas nas laterais podendo ou não conter união de topo através de emendas do tipo “*finger joint*” (AMOAHA et al., 2014; CORTEZ-BARBOSA et al., 2014). Este tipo de painel é muito utilizado na fabricação de móveis, na construção civil (tanto estrutural quanto na parte decorativa). A vantagem desses painéis está na possibilidade de serem confeccionados a partir de resíduos de madeira, árvores de pequenos diâmetros, como é o caso das de primeiro desbaste de reflorestamentos, suscitando um produto final de grande valor agregado e potencializando práticas eco eficiente e sustentável (ALMEIDA, 2015; MARTINS, 2011).

Um fator muito importante que está aliado à produção desse tipo de painel é o adesivo que será utilizado para unir as peças. O adesivo mais utilizado na colagem de EGPs são os PVAc's, que são à base de Poliacetato de Vinila, por conferirem boa fixação das superfícies coladas, fácil aplicação, por obter cura à temperatura ambiente e ser menos onerosos (LOPES et al., 2013). Os adesivos à base de Poliuretano reativo (PUR) também ganharam o mercado, por garantirem colagens de alta resistência da linha de cola à umidade e

temperatura, por permitir cura à temperatura ambiente, conferirem resistência à fadiga e a tratamentos de exposição ao calor (PAGEL; LUCKMAN, 1984).

Vários fatores influenciam na resistência das emendas coladas, como, a viscosidade e o tempo de cura do adesivo e a pressão e tempo de prensagem adotados no processo de colagem (BUSTOS et al., 2003).

O acabamento da superfície da madeira é outro fator essencial no processo de produção de EGP, por conferir proteção à madeira, melhoria na aparência e praticidade na limpeza de sua superfície. Os produtos de acabamentos podem ser naturais ou sintéticos. Os acabamentos de origem sintética mais usados na indústria moveleira são os vernizes, as tintas e seladoras (SOUZA et al., 2011). Antes de serem aplicados, todos exigem preparação inicial da superfície, como aplainamento e/ou lixamento que são os processos mais usuais.

Partindo dessas afirmações, instigou-se a verificação da possibilidade de produzir EGPs de boa qualidade utilizando madeira de desbaste (10 anos) da espécie de mogno africano, *K. ivorensis*. Baseando-se em estudos mais aprofundados quanto à utilização do material em sua fase jovem, no que diz respeito a seu desempenho na colagem e acabamento. Torna-se provável, a geração de produtos que podem agregar valor à madeira, maior incentivo a seu cultivo, estímulo do mercado madeireiro, diminuição no uso de espécies nativas e redução no desperdício de matéria prima.

2. HIPÓTESE

A madeira de desbaste de *K. ivorensis* é adequada para a produção de Painel Colado Lateralmente (EGP).

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho da madeira de desbaste de *K. ivorensis* para a produção de Painel Colado Lateralmente (EGP).

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito de diferentes adesivos (PVAc e PUR), pressões (0,7 e 1,0 MPa) e preparações da superfície (lixa e plaina), sobre a resistência de colagem da madeira de *K. ivorensis*;

- Avaliar o efeito de diferentes preparações de superfície sobre a aderência de filme de acabamento da madeira de *K. ivorensis*.
- Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *K. ivorensis*.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 KHAYA IVORENSIS

A espécie *K. ivorensis* A. Chev, de nome popular mogno africano, pertence à família Meliácea. É originária da África Ocidental, Costa do Marfim, Gana, Togo, Benim, Nigéria e Sul de Camarões (KLEIN et al., 2016). Estes países da Costa Oeste do Continente Africano apresentam características edafoclimáticas similares a algumas regiões brasileiras, podendo elucidar a boa adaptação dessa espécie no Brasil (BARBOSA, 2014). As espécies do gênero *Khaya* foram introduzidas no Brasil na década de 1970 consolidando no país devido a sua alta resistência à broca-do-ponteiro (*Hypsipyla grandella* Zeller), principal praga do mogno brasileiro (*Switenia macrophylla*) aliado a seu bom desempenho em crescimento e à proibição da comercialização e exploração da madeira do mogno brasileiro (COUTO et al., 2004).

É uma árvore de porte elevado, caducifolia nos climas áridos, chegando a atingir alturas de 40 m a 50 m e DAP (diâmetro na altura do peito) de até 200 cm (GONÇALVES et al., 2002). O caule é retilíneo, livre de ramificações até 30 m de altura e o sistema radicular tabular é bastante vasto. É uma planta heliófila, tolerante a sombra durante a fase jovem, permitindo seu plantio consorciado com espécies já estabelecidas, em produção ou mesmo em fim de ciclo. Possui ainda o diferencial de ser serrada facilmente, ou seja, não possui abrasividade (MATHIAS, 2013). Tem se adaptado no Brasil em altitudes entre 100 e 1.200 m, índice pluviométrico de 1.200 a 2.400 mm/ano e distribuição, de Santa Catarina ao Pará. Possui bom desenvolvimento em solos férteis, com índice pluviométrico acima de 1.500 mm, distribuído em seis ou oito meses, em climas com verões quentes (ROSSI e SARTORETTO, 2014).

Apesar de ser resistente aos ataques das brocas dos brotos terminais (*Hypsipyla grandella*), principalmente, no Centro Oeste e Norte do Brasil, plantios da espécie, são atacados por formigas cortadeiras, abelha-cachorro ou Irapuá e a broca do pecíolo, pragas que atrasam o crescimento e causam

distúrbios fisiológicos. Em determinadas regiões brasileiras os povoamentos têm sido prejudicados por doenças como o Cancro do córtex ou casca, causado pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae* (FALESI e BAENA, 1999; PINHEIRO et al., 2011).

Sua madeira tem coloração de tom avermelhado à marrom pálido, com distinção entre as camadas de crescimento, diferenciando o cerne do albarno (FRANÇA et al., 2015). A partir dos sete a oito anos, pode apresentar boas taxas de crescimento com período ideal para o corte raso a partir dos 15 anos de idade (KLEIN et al., 2016). Possui madeira macia e leve, elevada durabilidade, fácil manuseio e secagem, apresenta taxa de retratibilidade moderada, entretanto, o lenho de tração e tensões pode culminar em defeitos durante a secagem. Sua grã possui inclinação variável, podendo ser caracterizada como reta ou intercruzada (PINHEIRO et al., 2011). Estudando a espécie, aos 19 anos de idade, Vidaurre et al. (2017), relatou que a grã da madeira de *K. ivorensis*, avaliada pelo máximo desvio angular, apresentou média de 8,25°, sendo classificada como moderadamente intercruzada.

A madeira de *K. ivorensis* apresenta porosidade difusa, com vasos circulares ou ligeiramente ovais em seções transversais, ocorre de forma isolada ou em grupos radiais, circulado por bainhas estreitas de parênquima axial vasicêntrico e placas de perfuração simples (RINNE et al., 2011). No plano de corte transversal, os vasos são de pequenos e médios diâmetros, solitários ou em pares. No plano tangencial, os raios são unisseriados a multisseriados, e no plano radial são heterogêneos formados por células horizontais e eretas. O lenho desta espécie contém células de parênquima apotraqueal e paratraqueal vasicêntrico unilateral (TIMAR et al., 2010; TULIK et al., 2011).

No que se refere ao comportamento após desdobro, tábuas secas ao ar livre (19 anos), com umidade média de 15%, apresentaram índices de rachaduras de 9,46%, com comprimentos de rachaduras com cerca de seis cm. Isto está diretamente ligado aos valores de deformação residual longitudinal, ao índice de rachaduras de topo de toras, a resistência mecânica e à densidade da madeira desta espécie. Esses índices de rachaduras de tábuas secas foram inferiores aos publicados na literatura para a madeira de eucalipto, que dota de elevado nível de conhecimento científico e tecnológico na silvicultura, no

manejo e no melhoramento genético. Após a secagem natural, cerca de 61,54% do volume de tábuas de *K. ivorensis* apresentaram comprimento de rachaduras de média magnitude (61,70 mm) (SILVA et al., 2016).

Sua utilização é vasta, sendo destinada à movelaria, pequenos objetos, lâminas, estruturas de janelas, painéis, escadas e portas, à produção de celulose e carvão vegetal. É empregada desde em construções leves, como pisos, à construção pesadas como a naval, carrocerias de veículos, dentre outros (LEMMENS, 2008).

De acordo com a ABPMA (2017), no ano de 2017 o Brasil contava com uma área plantada com mais de 10 mil hectares de mogno africano. Em 2018, o Brasil possuía cerca de 30 mil hectares de florestas de Mogno Africano plantadas com idades que variavam entre zero e 20 anos (IBF, 2018).

Baseando tanto na implantação quanto no produto final, é notória a viabilização e aceitação da espécie *K. ivorensis* devido a sua facilidade de desenvolvimento, resistência, diversificação dos produtos em seu uso e fácil adaptação em diversos ambientes.

4.2 PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP)

Painel Colado Lateralmente (EGP), é caracterizado como um conjunto de sarrafos de madeira colados lateralmente, podendo ou não apresentar colagens de topo por meio de emendas do tipo *finger joint*, sendo sua adesão realizada com o auxílio de adesivos (IWAKIRI et al., 2015; IWAKIRI, 2005; TIENNE et al. 2011). Esse tipo de emenda foi projetado para obter maiores resistências de colagem em juntas longitudinais, já que as superfícies de topo não devem ser coladas diretamente devido à alta porosidade apresentada, acarretando excessiva penetração e a conseqüente formação de linha de cola faminta (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Pela alta demanda da madeira, este tipo de painel está ganhando espaço por utilizar pedaços de madeira, que seriam resíduos, para a confecção de painéis, gerando um produto final de alto valor agregado. Além disso, o que era antes inutilizado se transforma em produto valioso, sendo a técnica bastante ecoeficiente e sustentável (FOELKEL, 2008). Ozkaya (2011), corrobora que dentre os painéis de madeira, esse é o que mais se aproxima do aspecto estético da madeira sólida. De acordo com Lima et al. (2008), Murara Junior e

Peres (2010) e Danawade et al. (2014), esses painéis, além de agregar valor, aumentam o rendimento da indústria, já que possibilitam reaproveitar sarrafos estreitos ou curtos, e até mesmo com defeitos leves, os quais eram descartados ou queimados como biomassa.

Há grandes vantagens ligadas a esses produtos, tais como a possibilidade de confeccionar elementos de dimensões variáveis conforme condições e necessidade de produção, logística de transporte e sua funcionalidade; reduzir significativamente os efeitos de retração e inchamento do material, eliminar defeitos naturais e de secagem da madeira, obter peças com resistência mecânica equivalente ou superior à madeira maciça, resultando em um elemento com expressivas propriedades de rigidez em diferentes direções (BRANDNER et. al., 2016; KUILEN et al., 2011; STEIGER et al, 2008).

Tem-se recebido muito investimento tecnológico na produção de produtos florestais, dentre eles, os painéis de madeira, já que o setor florestal brasileiro a tempos passa por modificações, migrando intensamente do extrativismo das florestas nativas para seu manejo sustentável e, principalmente, para a expansão e fortalecimento da silvicultura (COLODETTE et al., 2014).

Os investimentos no setor florestal, em 2018, totalizaram cerca de R\$ 6,7 bilhões, onde R\$ 3,2 bilhões foram direcionados ao manejo florestal e R\$ 3,5 bilhões à indústria. Com isso, a produção industrial chegou a 7,9 M t de painéis de madeira (IBÁ, 2018). Do total de 7,83 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil, em 2018, o segmento de painéis de madeira e pisos laminados representou 6%. O Brasil ocupou o 8º lugar no ranking mundial dos maiores produtores de painéis de madeira reconstituída, totalizando 8,2 milhões de m³, um aumento de 2,8% em relação ao ano de 2017. No total, são 23 unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída, sendo a maior parte localizada nas regiões Sul e Sudeste (IBÁ, 2019a).

Em 2018, o Brasil fechou seu terceiro trimestre com um total de 4.967 mil m³ de painéis destinados ao consumo doméstico, 959 mil m³ a exportações e 4 mil m³ a importações. No mesmo período, o ano de 2019 totalizou 4.990 mil m³ no consumo doméstico, 870 mil m³ em exportações e 8 mil m³ em importações de painéis de madeira. Na balança comercial do setor, os anos de 2018 e 2019 fecharam com US\$ 226 milhões e US\$ 197 milhões em exportações e US\$ 3 milhões e US\$ 4 milhões em importações, respectivamente (IBÁ, 2019b).

Em relação a participação do setor na balança comercial brasileira, o Brasil atingiu em 2018 e 2019 o equivalente a US\$ 177,082 milhões e US\$ 167,206 milhões FOB em exportações e US\$ 135,346 milhões e US\$ 133,588 milhões FOB em importações, respectivamente. A exportação brasileira de painéis de madeira faturou no ano de 2019 o equivalente a US\$ 197 milhões FOB. Seus maiores consumidores são: América Latina com US\$ 125 milhões, América do Norte com US\$ 49 milhões, Ásia e China com um total de US\$ 7 milhões cada, África com US\$ 6 milhões e a Europa com US\$ 3 milhões FOB (IBÁ, 2019b).

É notório que o mercado de painéis de madeira é bastante promissor, ao fundamentar-se no cenário atual, que aponta evolução no consumo interno (principalmente doméstico) e nas exportações deste produto para diversos fins.

4.3 JUNTAS DE MADEIRA (*FINGER JOINT*)

O comprimento das peças de madeira é o que, na maioria das vezes, limita muitos usos do material. Para sanar esta e outras problemáticas é que foram desenvolvidas as juntas de madeira, também conhecidas como ligações.

As ligações são dispositivos capazes de assegurar a união entre peças e também viabilizar a transmissão dos esforços entre elementos de madeira. As ligações coladas, por exemplo, são feitas com a união de peças de madeira em consórcio com um tipo de adesivo. O produto gerado a partir deste processo confere elevada resistência e rigidez (DUARTE, 2004).

A união longitudinal de peças é feita, geralmente por emendas dentadas em formato de dentes ou dedos (*Finger Joint*). Este designer foi projetado para assegurar maior resistência de colagem em emendas longitudinais, vez que as superfícies coladas de topo não devem ser coladas diretamente devido a porosidade da madeira, que acarreta em excessiva penetração do adesivo, gerando linha de cola faminta (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

A adoção das emendas do tipo *finger joint*, permite a fabricação de peças a partir de madeiras com defeitos naturais e até de secagem, bem como, o uso de peças de pequenas dimensões para a produção de elementos estruturais e não estruturais. Se manufaturadas adequadamente, as emendas dentadas podem atingir resistência de pelo menos 75% em relação à resistência da madeira sólida de diversas espécies (USDA, 1999).

As emendas dentadas podem ser classificadas de acordo com seu uso e suas características geométricas, podendo ser do tipo estrutural e não estrutural. O *finger joint* estrutural é dotado de dentes longos e menor largura da ponta, já o *finger joint* não estrutural possui dentes menores e largura da ponta maior. Emendas não estruturais são adotadas quando não se objetiva elevada resistência na junção das peças (JOKERST, 1981).

A geometria da emenda está intimamente ligada a resistência da colagem das peças. O parâmetro geométrico com maior influência na resistência da colagem é a largura da ponta do dente, quanto menor for essa dimensão mais resistente será a emenda dentada. E ao passo que diminui a inclinação do dente, aumenta também a resistência da emenda dentada (HERNANDEZ, 1998). Karastergiou et al. (2006), em estudo, encontrou que a resistência de colagem é influenciada pelo comprimento dos dentes, já que seu aumento resultou em um aumento do módulo de ruptura das emendas.

4.4 ADESIVOS

A tecnologia de colagem da madeira relaciona-se com a conservação de recursos florestais através do seu aproveitamento integral, unindo peças de diversos tamanhos e formas, gerando produtos reconstituídos. O processo de colagem envolve três importantes elementos: adesivo, aderente e adesão. O adesivo é uma substância capaz de manter materiais unidos superficialmente, ou seja, substâncias com propriedades aderentes; aderente é o termo designado para indicar os sólidos unidos por adesivos; e adesão é o fenômeno que gera a interação entre superfícies sólidas e partículas individuais como moléculas, pequenas gotas, pó, dentre outros elementos (IWAKIRI, 2005).

O termo adesivo engloba uma categoria de produtos (colas, resinas, pasta, goma, cimento) que tem por finalidade prender, ligar ou juntar dois ou mais materiais sólidos. É uma substância com propriedades capaz de aderir algo a um substrato igual ou diferente, resultando em uma ligação superficial forte e duradoura. Tal substância se desenvolve dentro de condições específicas, tais como calor, pressão e tempo (OSTAPIV, 2011).

Os adesivos recebem classificação quanto a sua resistência para uso e locais diversos. A norma Européia EN 204:2001 (EN 204, 2001) classifica a resistência das colagens e os adesivos em quatro grupos (D1, D2, D3 e D4). A

classe D1 corresponde aos adesivos de uso interior (ambientes onde a umidade de equilíbrio não excede 15%), a classe D2 compreende os adesivos de uso interior (exposições rápidas e esporádicas à umidade, entretanto, a umidade de equilíbrio não deve ser maior que 18%) a classe D3 contempla os adesivos de uso interior (exposições frequentes, contudo rápidas à umidade e exterior sem exposição direta ao tempo) e na classe D4 encontram-se os adesivos de uso interior (exposições frequentes e de longa duração à umidade e de uso exterior com proteção adequada).

Segundo o FPL (1999), podem ainda ser classificados quanto sua finalidade de uso, envolvendo o ambiente em que será exposto (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos adesivos conforme ambiente de uso.

Classificação dos adesivos	Ambiente de uso	Tipos de adesivo
Estrutural	Exterior	Fenol-formaldeído (FF) Resorcinol-formaldeído (RF) Fenol-resorcinol-formaldeído (FRF) Emulsão polímero/isocianato Melamina-formaldeído (MF)
	Exterior limitado	Melamina-ureia-formaldeído (MUF) Isocianato Epóxi
	Interior	Ureia-formaldeído (UF) Caseína
Semiestrutural	Exterior limitado	Polivinil acetato " <i>crosslinking</i> " Poliuretano
Não estrutural	Interior	Polivinil acetato (PVAc) Animal Soybean "Hot-melt" Amido

Fonte: Prata (2010 apud *Forestry Laboratory Products*, 1999).

A qualidade da colagem da madeira está intimamente relacionada às características do adesivo a ser utilizado e também às variáveis relacionadas à estrutura anatômica da madeira e ao tipo de processamento da madeira antes da colagem (REMADE, 2002). Para a colagem, as condições físicas e químicas da superfície da madeira são importantes, como viscosidade adequada dos adesivos para umedecer e espalhar nas superfícies, e posterior pressão para

melhor consolidar as juntas de madeira coladas. De forma geral, o adesivo deve ser capaz de fluir e preencher espaços vazios entre as juntas coladas, gerando interação entre o adesivo e madeira (PIZZI, 1994).

Para a produção de EGPs, os adesivos à base de Acetato de Polivinila (PVAc) são os mais utilizados (LOPES et al., 2013). Conti (2011), corrobora que os adesivos PVAc são os mais adequados para a confecção de EGPs e mobiliário, pelo fato de apresentar baixo custo e alta produtividade.

Os adesivos PVAc, U.S. Products Laboratory, é um líquido branco a castanho-claro ao amarelo, sendo que a interface de colagem se apresenta incolor. Pode ser aplicado diretamente na madeira, prensado em temperatura ambiente ou através de alta frequência, após a colagem, o produto apresenta alta resistência mecânica quando inserido em ambiente seco. Porém, em ambientes com altas temperaturas e alta umidade, torna-se menos eficiente (FRIHART et al., 2010). Por ser uma cola a base de água, as resinas PVAc apresentam outras vantagens como: inodoro; não inflamável; baixo custo; facilidade e segurança no manuseio; secagem rápida sob condições adequadas; sua cura se processa à temperatura ambiente; fácil limpeza; estabilidade à estocagem. É muito utilizado na manufatura de EGPs, *finger joint*, móveis, colagem de lâminas, entre outros (IWAKIRI, 2005).

Outro adesivo que tem se destacado na colagem dos EGPs são os adesivos à base de poliuretano (PUR), por possuírem a vantagem de não emanarem formaldeído, além de proporcionarem um produto com alta resistência à umidade, de manipulação à temperatura ambiente e grande resistência mecânica (OLIVEIRA JUNIOR, 2006). Apresentam uma cura rápida, com colagens de alta resistência à umidade e temperatura. É recomendado para aplicações em painéis e pisos de madeira laminada e estruturas de madeira para uso exterior (PURBOND, 2007).

O PUR requer a umidade contida na madeira, pois a mesma, reage com uma parte do isocianato liberando dióxido de carbono (CO_2) e forma uma amina, tal fenômeno faz com que o adesivo se expanda rapidamente. Posteriormente, a amina reage com outro grupo isocianato, originando uma estrutura reticulada como nos sistemas bicomponentes (BAYER MATERIALSCIENCE, 2010).

O adesivo deve ser escolhido de acordo com suas variáveis de produção, destino e exposição. É importante que o adesivo seja resistente o suficiente para assegurar a qualidade das juntas coladas lateralmente (LIMA et al., 2008).

4.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DA COLAGEM

Para gerar EGPs de elevada qualidade, é necessário conhecer os fatores que interferem na qualidade de colagem. Esses fatores referem-se tanto às características e aplicação do adesivo quanto às propriedades da madeira.

Em relação aos fatores ligados ao adesivo, uma das variáveis importantes é a gramatura, a qual pode alterar a resistência mecânica de um painel se utilizado adesivo em quantidade maior ou menor que o recomendado (IWAKIRI et al., 2013). A gramatura refere-se à quantidade de adesivo aplicado à superfície das peças a serem unidas, sendo considerada ideal quando preencher todo o espaço vazio entre elas, resultando na formação de uma linha de cola resistente (CORRÊA, 1997). Segundo Lopes (2008), a faixa de gramatura mais utilizada pela indústria situa-se em uma faixa de 180 a 220 g/m².

Outras propriedades de um adesivo que exercem grande influência são sua viscosidade, teor de sólidos, densidade e pH, no entanto, a reatividade do adesivo também pode ser interessante à caracterização de um adesivo, pois consiste na velocidade em que a resina se torna uma estrutura sólida de maneira irreversível (BANDEL, 1991).

A viscosidade influencia em vários aspectos. Um adesivo com alta viscosidade pode apresentar dificuldade de espalhamento sobre a superfície devido à baixa fluidez, condições inadequadas de umectação e menor penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira, formando uma linha de cola mais espessa, ocasionando ligação insuficiente no sistema madeira-adesivo e qualidade inferior da colagem (ALMEIDA, 2013). Por outro lado, um adesivo com baixa viscosidade pode proporcionar maior penetração e sua absorção pela madeira, resultando em linha de cola “faminta” (IWAKIRI, 2005).

A propriedade pH exerce influência tanto da madeira como da resina, onde o mesmo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11. Valores elevados de pH podem proporcionar a degradação das fibras da madeira, por outro lado, um pH demasiadamente baixo pode resultar em formação excessiva de espuma,

prejudicando o rendimento do adesivo (IWAKIRI, 2005). O teor de sólidos dos adesivos deve também estar presente em quantidade equilibrada, pois quanto maior a quantidade de água, menor a porcentagem do teor de sólidos na resina, tornando mais lenta a velocidade de formação da película, devido ao tempo de evaporação da água (BANDEL, 1991).

Em relação às propriedades da madeira, de algum modo, todas afetam o desempenho da colagem, porém, as principais são: a massa específica, o teor de umidade e a retratibilidade, a rugosidade e a grã (DUNKY et al., 2003; FRIHART; HUNT, 2010). Marra (1992) esclarece que o aumento da massa específica tende a aumentar a resistência da linha de cola, por exemplo, madeiras de baixa massa específica possuem maior porosidade, portanto, absorvem quantidade excessiva de adesivo, ou seja, ocorre maior penetração de adesivo, podendo ocasionar linha de cola “faminta”.

As mudanças do teor de umidade causam alterações dimensionais ao induzir tensões na linha de cola, com efeito mais pronunciado em madeiras de alta massa específica (MARRA, 1992). Selbo (1975), afirma que a madeira com teor de umidade muito baixo, retira água da linha de cola muito rapidamente, iniciando o processo de cura do adesivo antes do tempo esperado, tornando-o incapaz de preencher e umectar sob pressão na prensa. Em caso de umidade elevada na madeira, a cura e a secagem da linha de cola serão deficientes, aumentando o tempo de prensagem e diminuindo a resistência na linha de cola, podendo ocasionar bolhas de vapor durante a prensagem. O teor de umidade ideal da madeira para realizar a sua colagem deve estar entre 2 a 12%, sendo recomendado de 2 a 8% para a prensagem em alta frequência, e de 8 a 12% para prensagem à frio (BANDEL, 1991; TSOUKIS, 1991).

A quantidade e o tipo de extrativos encontrados na madeira também podem gerar interferências nas reações de polimerização do adesivo interferindo na qualidade do produto final (LIMA et al. 2008). A umidade do ar é outro fator que pode exercer influência na colagem. Em condições de umidade elevada, é necessário utilizar tempos em aberto e de prensagem maiores, podendo resultar em uma linha de cola de baixa resistência (BANDEL, 1991).

4.6 USINAGEM E ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA

Apesar de ser bastante utilizada sem acabamento, a madeira que é exposta sem esta proteção poderá apresentar diminuição em seu ciclo de vida, devido à ação de agentes externos (luz, umidade, calor) (USDA, 1999).

Antes de receber os produtos de acabamento final, a peça de madeira passa por operações de usinagem, como o destopo, cortes, furação, fresamento, lixamento, aplainamento, sendo o aplainamento e o lixamento as principais operações na preparação de superfície (FONTE, 2016).

O aplainamento também chamado de fresamento periférico consiste na remoção de cavacos na preparação da superfície (LUCAS FILHO, 2004). Tem por finalidade obter superfícies uniformes e planas, podendo ser executado com uma ou mais lâminas fixas a um cilindro girante (BIANCHI, 1996). A qualidade da superfície aplainada tende a ser melhor quando realizada no sentido a favor da grã (DIAS JÚNIOR et al., 2013). Após o processo de aplainamento da superfície da madeira, as peças recebem lixamento.

Para Watai (1995) e Silva (2002), o lixamento de painéis é uma operação de usinagem e acabamento essencial no beneficiamento da madeira, visando compensar as irregularidades presentes na superfície usinada destacando sua beleza natural, porém, as superfícies lixadas podem apresentar fibras arrancadas e arrepiadas pela ação abrasiva (MARTINS et al., 2011).

Deve-se seguir uma ordem nas granulometrias de lixa, iniciando-se pelas lixas mais grossas, a fim de remover as maiores imperfeições, seguidas pelas médias e por fim as de grãos mais finos, adaptando-se o tipo de lixa a espécie de madeira trabalhada (WATAI, 1995; REMADE, 2010).

De modo geral, o aplainamento elimina diferenças geradas por processos anteriores de desdobro da madeira e o lixamento prepara a superfície da madeira para receber o acabamento eliminando marcas oriundas do processo de aplainamento das peças.

No que tange as diferenças entre a superfície lixada e a superfície aplainada, Sulaiman et al. (2009) e Martins (2011), corroboram que as superfícies usinadas com lixa são caracterizadas pela presença de microfibrilas arrancadas e levantadas das paredes das células e apresenta ranhuras características da ação abrasiva. Além disso, os lumes das células são preenchidos pelo pó produzido durante o processo, o qual dificulta a

penetração de adesivos e produtos de acabamento. Já a superfície aplainada, apresenta maior quantidade de células abertas como vasos e fibras (COOL; HERNÁNDEZ, 2011; MARTINS et al., 2011).

Após o processo de usinagem, a madeira está adequada para receber o acabamento final, que têm por finalidade, proteger e preservar o produto final, bem como torná-lo esteticamente aceito pelos consumidores (SOUZA et al., 2009). Guedes (2011), complementa que os acabamentos têm duas funções fundamentais: uma voltada à proteção, como à umidade, radiação solar ou de produtos químicos, como à deterioração biológica (ataque de fungos, insetos, etc.) e a outra como uma função estética, tornando a madeira mais agradável ao toque e conferindo a ela uma aparência estimada.

Há uma gama de produtos de acabamento destinados a madeiras, como as massas para corrigir imperfeições, óleos e ceras para proteger, limpar, hidratar e conservar, seladoras que fecham os poros, uniformizam, nivelam e realçam a grã, os vernizes que realçam o brilho e protegem, e as tintas para alterar a aparência natural por completo (SILVA et al., 2002a). Os produtos normalmente utilizados em acabamentos de madeiras são seladores, primers, tintas e vernizes (SILVA et al., 2002a; SILVA et al., 2010b).

Os seladores têm por desígnio, preparar a superfície corrigindo defeitos do substrato, uniformizando a absorção da superfície, diminuindo o consumo de verniz e aumentando a vida útil da pintura (FAZENDA, 2008). Fazano (1989) e Silva et al. (2002a), complementam que os seladores nivelam a superfície, fecham os poros e espaços intercelulares da madeira, aumentam a coesão de superfícies porosas e realçam a grã, permitindo que o acabamento apresente maior aderência (ÇAKICIER et al., 2011). Assim, o verniz será utilizado como revestimento protetor ou decorativo para diferentes tipos de superfícies. Após sua secagem, o produto forma uma película de maior espessura, sólida, contínua, homogênea, uniforme, transparente ou translúcida (GUEDES, 2011).

Há diversos tipos de vernizes, variando sua base. Os vernizes a base de Poliuretano (PU), por exemplo, são muito utilizados nos acabamentos em madeiras. Para Guedes (2011) e Çakicier et al. (2011), esse tipo de verniz confere acabamentos de alta resistência á abrasão, dureza, durabilidade, resistência química, térmica e à umidade, com teor de sólidos por volta de 45%, transparência e alto brilho. Fazano (1989), relata que o acabamento PU

pode ser utilizado tanto em ambiente interno quanto externo. Porém, é necessária cautela ao utiliza-lo devido a sua alta sensibilidade a mudanças climáticas (umidade e temperatura), possui cura lenta em relação a outros produtos, pode sofrer amarelamento caso o PU utilizado seja de natureza aromática. O verniz PU é um dos mais utilizados no acabamento de pisos, e é considerado de difícil aplicação, além de possuir as limitações de ser mais caro e de não permitir retoques de aplicação, exigindo maior treinamento do operador (ÇAKICIER et al., 2011).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PLANTIO

A madeira utilizada no trabalho é oriunda da Fazenda Rohsal, proveniente de plantio comercial no município de Nerópolis – Goiás (Figura 1a), situado à 852 m de altitude, com coordenadas geográficas 16°18'28.85"S e 49°13'3.80"O, altitude de 852 metros de altitude. O verão é úmido e chuvoso e o inverno seco e relativamente frio. O clima é do tipo Aw, segundo Köppen (Lima et al., 2016), com verão úmido e chuvoso e inverno seco e relativamente frio. A precipitação média anual é de 1.432 mm, nos meses mais frios a temperatura média é de 20,4 °C e 24,4 °C nos meses mais quentes. O solo é considerado do tipo Latossolo vermelho.

A floresta foi implantada no ano de 2008, com espaçamento de 5 x 4 metros, estando com 10 anos de idade no momento do corte (segundo desbaste).

5.2 AMOSTRAGEM E DESDOBRO DAS TORAS

Foram abatidas nove árvores de *K. ivorensis* (cortadas a partir de 0,50 m do solo), seccionadas a cada 1,50 m, utilizando toda a parte comercial da tora (até a formação do primeiro galho) (Figura 1b). As árvores apresentavam uma média de 25 cm de DAP (diâmetro a altura do peito) e altura média total de 13 metros.

As toras foram encaminhadas à marcenaria, passando pelo processo de retirada das costaneiras com auxílio da motosserra (Figura 1c), posteriormente,

foram retiradas tábuas de 50 mm de espessura, utilizando serra circular (Figura 1d) e desengrosso para minimizar as desuniformidades da superfície da peça, causadas pela serra.



Figura 1. Corte e desdobro da madeira: A) Perfil da floresta de *Khaya ivorensis*; B) Toras seccionadas a 1,5 metros e devidamente direcionadas ao desdobro; C) Retirada das costaneiras com o auxílio da motosserra; D) Retirada das tábuas utilizando serra circular.

Para os ensaios deste trabalho, foram utilizadas tábuas nas dimensões de 1,5 m de comprimento, 50 mm de espessura e larguras variadas, levando em consideração a seleção de peças com menor incidência de defeitos naturais e de secagem (empenamentos e rachaduras). O material passou pelo processo de secagem ao ar livre durante dois meses, posteriormente, foi seco em estufa à 45 °C durante uma semana, seguindo para sala de climatização (temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de $63 \pm 2\%$), até atingir 12% de umidade.

5.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Para determinar o teor da umidade, as densidades aparente, verde, seca e básica da madeira e avaliar a contração volumétrica da madeira, foram confeccionados 45 corpos de prova (cinco amostras de cada árvore), com dimensões de 3 x 2 x 5 cm (radial x tangencial x longitudinal), retiradas aleatoriamente ao longo das tabuas. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma NBR 7190 (1997).

O teor de umidade da madeira ($U_{\%}$) foi determinado a partir da pesagem dos corpos de prova (Equação 1). Posteriormente, os cps (corpos de prova) foram medidos em três pontos em cada uma das três faces de corte (radial x tangencial x longitudinal) estando em condição a 12%, determinando a densidade aparente (D_{ap}) da madeira (Equação 2). Os cps foram imergidos em água por um período de 45 dias até atingirem peso constante, sendo, posteriormente, retirados para pesagem e medições seguindo o mesmo padrão anterior, determinando a densidade verde da madeira (D_{verde}) (Equação 3). Após esse processo, os cps foram colocados em estufa a uma temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem estabilidade da umidade, sendo pesados e medidos novamente para determinar a densidade seca (D_{seca}) (Equação 4) e densidade básica (D_{bas}) (Equação 5).

$$U_{(\%)} = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

U = Umidade da madeira, %;
 M_i = Massa inicial da madeira (12%), g;
 M_s = Massa da madeira seca (0%), g.

$$D_{ap} = \frac{M_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (2)$$

Onde:

D_{ap} = Densidade aparente da madeira a 12% de umidade, g/cm^3 ;
 $M_{12\%}$ = Massa da madeira a 12% de umidade, g;
 $V_{12\%}$ = Volume da madeira a 12% de umidade, cm^3 .

$$D_{verde} = \frac{M_{verde}}{V_{verde}} \quad (3)$$

Onde:

D_{verde} = Densidade verde da madeira a 12% de umidade, g/cm^3 ;
 M_{verde} = Massa da madeira verde, g;
 V_{verde} = Volume da madeira verde, cm^3 .

$$D_{seca} = \frac{M_{0\%}}{V_{0\%}} \quad (4)$$

Onde:

D_{seca} = Densidade seca da madeira, g/cm³;
 $M_{0\%}$ = Massa da madeira a 0% de umidade, g;
 $V_{0\%}$ = Volume da madeira a 0% de umidade, cm³.

$$D_{bas} = \frac{M_{0\%}}{V_{verde}} \quad (5)$$

Onde:

D_{bas} = Densidade básica da madeira, g/cm³;
 $M_{0\%}$ = Massa da madeira a 0% de umidade, g;
 V_{verde} = Volume da madeira verde, cm³.

As contrações ($C_{r, t, l}$) nos sentidos radial, tangencial e longitudinal foram calculadas conforme Equação 6. Os coeficientes de contração volumétrica (CV) (radial, tangencial e longitudinal) de cada árvore e coeficiente anisotrópico (CA), foram medidos em seu estado saturado obtendo-se o volume úmido (V_u), com umidade superior a 30% após imersão em água até peso constante, até o volume seco (V_s) a 0% de umidade, conforme as Equações 7 e 8.

$$C_{r,t,l} = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{sat}} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

$C_{r, t, l}$ = Contração radial, tangencial e longitudinal, %;
 M_{sat} = Medida da amostra na condição saturada, mm;
 M_{seco} = Medida da amostra na condição seca em estufa, mm.

$$CV = \frac{V_u - V_s}{V_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

CV = Contração volumétrica, %;
 V_u = Volume úmido, mm³;
 V_s = Volume seco, mm³.

$$CA = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

(8)

Onde:

CA= Coeficiente anisotrópico, %;

β_t = Contração linear tangencial, %;

β_r = Contração linear radial, %.

5.4 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

5.4.1 Preparação das peças para teste de resistência ao cisalhamento da madeira sólida

Esta análise torna-se necessária a fim de posterior comparação da resistência da madeira colada ao cisalhamento com a resistência da madeira sólida ao cisalhamento.

Após a estabilização da umidade das tábuas (12%), foram confeccionados 20 cps de madeira sólida para testar sua resistência ao cisalhamento (a seleção das tábuas ocorreu de forma aleatória). As dimensões dos cps foram adotadas segundo norma ASTM 143-2000 (Figura 2).

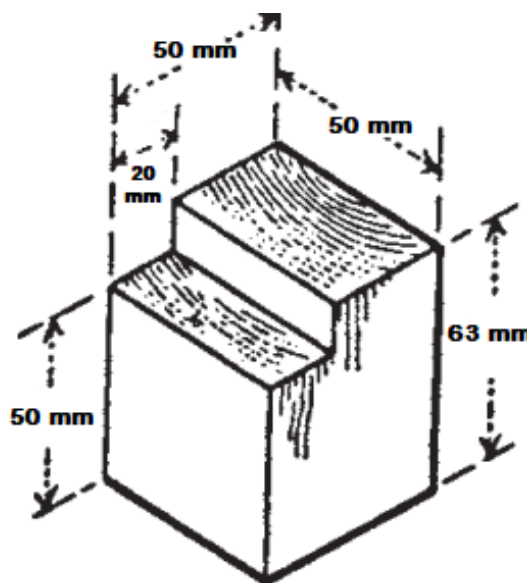


Figura 2. Dimensão dos corpos de prova da madeira sólida segundo a norma ASTM 143-2000 (ASTM 143, 2000).

O ensaio foi realizado em máquina universal de ensaios a uma velocidade constante de 0,6 mm/min (ASTM 143, 2000) (Figura 3).

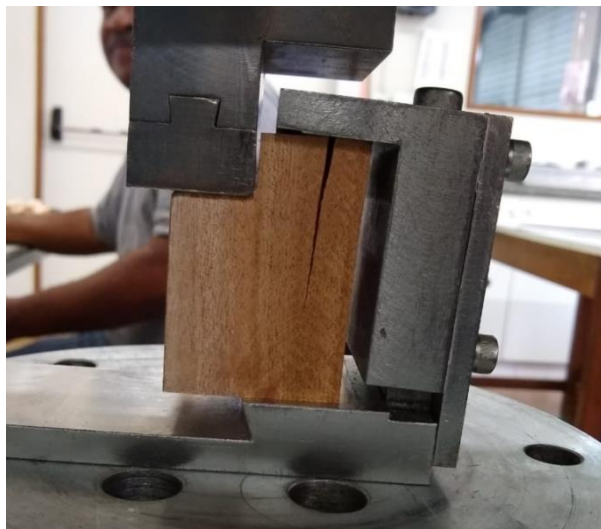


Figura 3. Teste de resistência ao cisalhamento na madeira sólida utilizando máquina universal de ensaios.

5.4.2 Preparação e colagem das peças para testes de resistência a colagem lateral

As dimensões dos sarrafos para colagem lateral foram de 700 mm de comprimento, 55 mm de largura e 25 mm de espessura.

As peças destinadas ao lixamento da madeira a ser colada foram friccionadas sobre uma lixa grão 60 por 40 vezes, manualmente. Já para preparar a superfície das peças que receberiam aplainamento, foi utilizada uma plaina desempenadeira.

Para o processo de colagem das peças foram utilizados os adesivos Titebond II Premium Wood Glue, à base de acetato de polivinila (PVAc) (D4 conforme EN 204) e o adesivo Kleiberit 501 à base de poliuretano (PUR) (D4 conforme DIN/EN 204). Cada adesivo apresentava propriedades físicas e variáveis específicas a serem empregadas na colagem, segundo boletim técnico (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades físicas dos adesivos e condições de prensagem (TITEBOND, 2019; KLEIBERIT, 2019).

Adesivo	Viscosidade (CPs)	Teor de sólidos (%)	Gramatura (g/m ²)	Pressão (MPa)	Tempo de prensagem (horas)
Titebond II	4000	48	200	0,7 e 1,0	3
Kleiberit 501	8000	100	200	0,7 e 1,0	3

A aplicação dos adesivos nas faces que seriam coladas foi feita de forma manual (Figuras 4a e 4b), controlando a quantidade de adesivo para cada face (200 g/m²). Os blocos formados foram prensados em prensa hidráulica sob temperatura ambiente (Figura 4c). A pressão de prensagem exercida sobre as peças variava conforme tratamento, durante tempo fixo de três horas, conforme estabelecido pelo fabricante (Tabela 3).

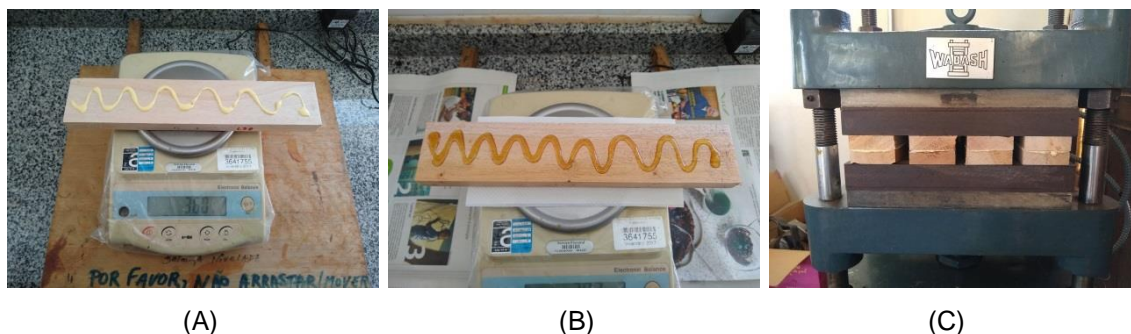


Figura 4. Processo de colagem da madeira: A) Distribuição do adesivo PVAc na superfície da madeira a ser colada; B) Distribuição do adesivo PUR; C) Prensagem da madeira em prensa hidráulica à frio.

O cálculo da pressão específica (P_e) foi realizado conforme Equação 9 (IWAKIRI, 2005).

$$P_e = \frac{P_m \times A_t}{A_c} \quad (9)$$

Onde:

P_e = Pressão específica, kgf/cm²;

P_m = Pressão manométrica lida na prensa, kgf/cm²;

A_c = Área a ser colada, cm²;

A_t = Área total dos pistões, cm².

Para o teste de colagem, foram avaliados oito tratamentos, que variavam em relação ao tipo de adesivo, preparação da superfície de colagem e à pressão (Tabela 3).

Optou-se por utilizar os adesivos PVAc e PUR por apresentarem bom desempenho em colagem de painéis. A lixa e plaina foram adotadas por serem os métodos mais utilizados na preparação de superfície para colagem. As pressões 0,7 e 1,0 correspondem à faixa de pressão ideal para prensagem de madeira conforme sua densidade.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos avaliados em teste de resistência a colagem.

Adesivo	Preparação da superfície	Pressão (MPa)	Nº CP	Tratamento
PVAc	Plaina	0,7	20	T1
		1,0	20	T2
	Lixa	0,7	20	T3
		1,0	20	T4
PUR	Plaina	0,7	20	T5
		1,0	20	T6
	Lixa	0,7	20	T7
		1,0	20	T8

5.4.3 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola

Após a etapa de colagem, as peças foram colocadas em câmara climatizada com temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $63 \pm 2\%$ durante 20 dias para estabilização da umidade (12%), e posteriormente, transformadas em cps, conforme norma ASTM D5751– 99 (Figura 5).

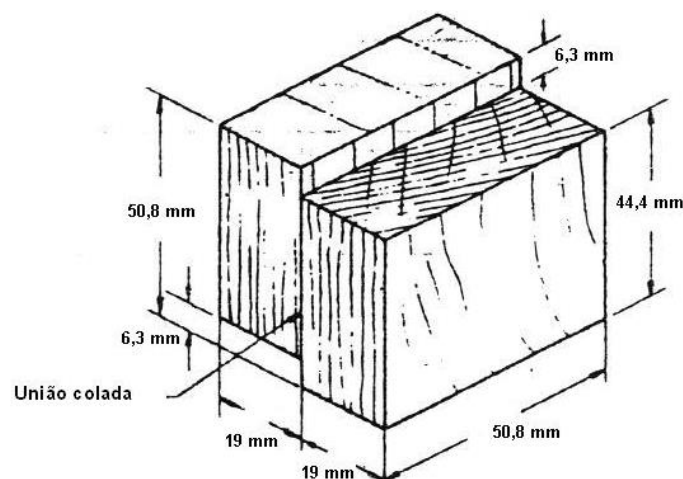


Figura 5. Dimensão dos corpos de prova colados, segundo a norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado).

Os cps foram testados em máquina universal de ensaios da marca Instron a uma velocidade constante de 12,8 mm/min (Figura 6).



Figura 6. Teste de resistência ao cisalhamento na linha de cola, utilizando maquina universal de ensaios.

Após a ruptura dos cps, foi avaliado o percentual de falha na madeira com o auxílio de lâminas plásticas transparentes nas mesmas dimensões da área de colagem dos cps. As lâminas foram previamente quadriculadas em 100 partes iguais, de modo que cada parte representava 1% da área colada (Figura 7).

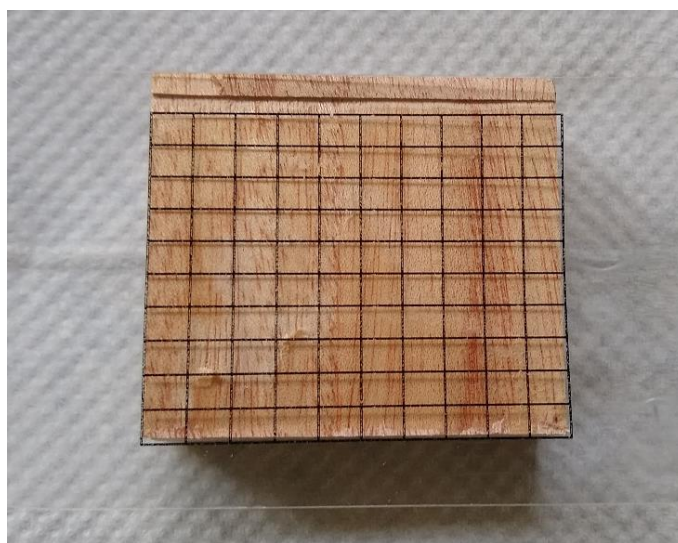


Figura 7. Método de avaliação do percentual de falha na madeira colada após ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola, utilizando lâmina transparente como gabarito.

5.4.4 Preparação e colagem das peças para teste de resistência à colagem longitudinal (*finger joint*)

As peças utilizadas tinham as dimensões de 200 mm de comprimento, 70 mm de largura e 30 mm de espessura conforme norma NBR 7190 (1997).

A geometria dos dentes foi definida em função do conjunto de fresas disponível para o ensaio. O conjunto de fresas foi adaptado a uma tupa, resultando em peças que foram usadas para formar uma emenda dentada do tipo *finger joint* (Figura 8a e 8b).

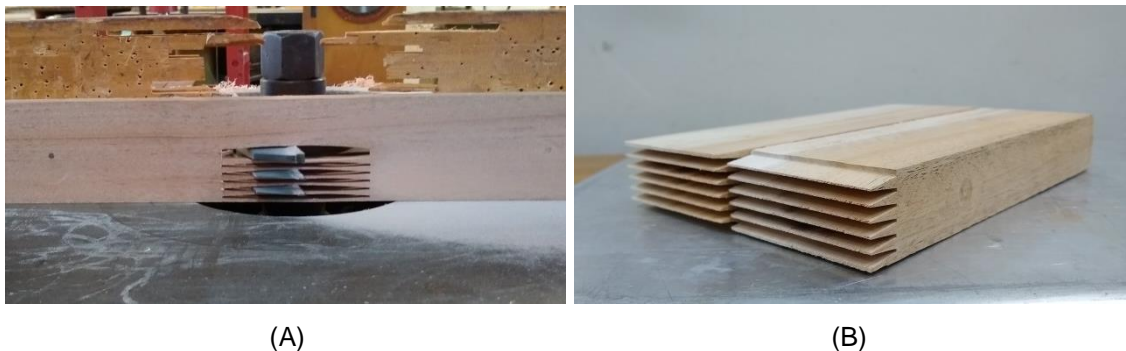


Figura 8. Confeção dos *finger joint*. (A) Conjunto de fresas; (B) Geometria dos dentes que formaram o conjunto do tipo *finger joint*.

As peças foram coladas longitudinalmente utilizando os mesmos adesivos empregados na colagem lateral (Tabela 2), controlando a quantidade de adesivo por dente (respeitando a gramatura de 200 g/m²). Tanto o adesivo PVAc quanto o PUR, foram aplicados uniformemente por toda a extensão dos dentes utilizando uma espátula de madeira (Figura 9a). A gramatura foi controlada através da pesagem da peça com adesivo.

Após a união das duas peças dentadas, o bloco foi colocado de forma longitudinal em uma prensa hidráulica (Figura 9b). A pressão de colagem foi de 1,5 MPa, aplicada durante três horas, para ambos os tratamentos.

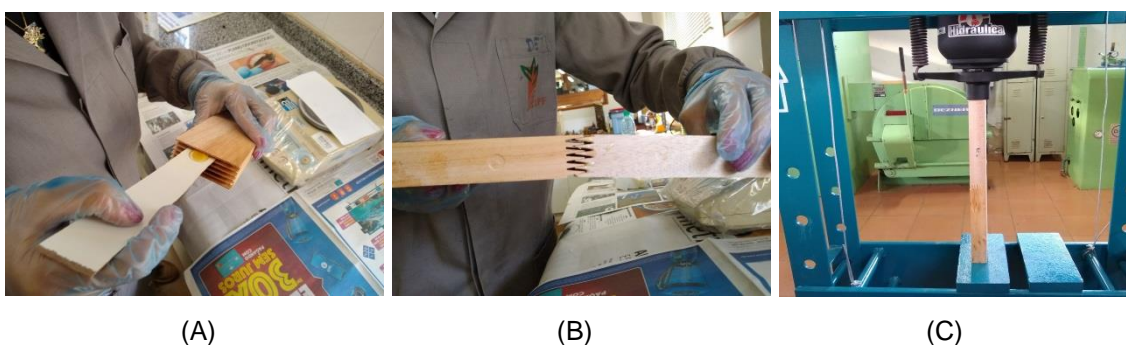


Figura 9. Colagem de peças para ensaio de flexão estática: A) Aplicação do adesivo utilizando espátula de madeira para distribuição uniforme; B) Encaixe das peças formando conjunto macho e fêmea; C) Prensagem das peças coladas em prensa hidráulica a frio.

5.4.5 Ensaio de resistência à flexão estática

As peças foram climatizadas a temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de $63 \pm 2\%$ durante 10 dias, para estabilidade de umidade (12%).

Posteriormente, foram confeccionados cps com dimensões de 307,2 mm de comprimento, 19,2 mm de largura e 12,8 mm de espessura conforme norma ASTM D5572 - 95. A orientação do *finger joint* foi vertical em relação à direção da carga no momento do ensaio (Figura 10).

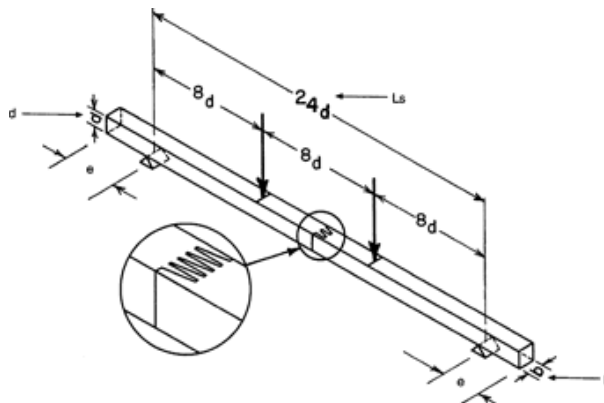


Figura 10. Orientação do corpo de prova durante teste de resistência à flexão estática segundo a norma ASTM D5572 (ASTM D5572, 1995).

No ensaio de colagem longitudinal foram avaliados dois tratamentos, variando o tipo de adesivo (Tabela 4).

Tabela 4. Tratamento para o teste de resistência à colagem longitudinal.

Tratamento	Adesivo	Nº CP
T1	PVAc	20
T2	PUR	20

Os cps foram submetidos ao ensaio de resistência à flexão estática em máquina universal de ensaios EMIC, a uma velocidade constante de 12,7 mm/min (Figura 11).

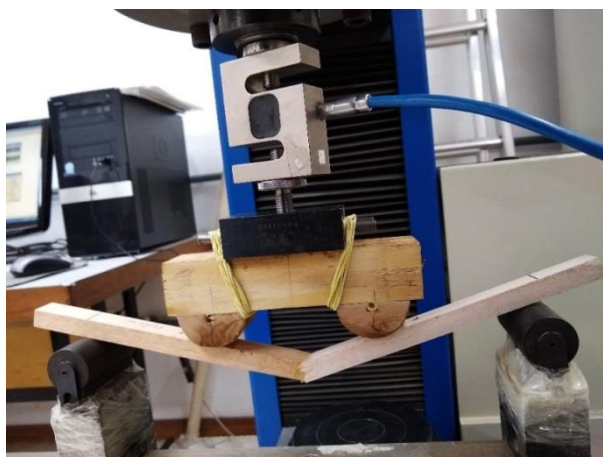


Figura 11. Ensaio de resistência da madeira colada à flexão estática em máquina universal de ensaios (EMIC). A força exercida pela máquina de ensaios sob o CP é distribuída em dois pontos próximos ao *finger joint*.

Para os resultados obtidos no ensaio de resistência da madeira colada à flexão estática, foi calculado o módulo de ruptura (f_M) através da Equação 10, estabelecida pela norma ASTM D5572.

$$f_M = \frac{P_{rup}L}{bh^2} \quad (10)$$

Onde:

f_M = Módulo de ruptura, MPa;
 P_{rup} = Carga de ruptura, N;
 L = Comprimento do vão, mm;
 b = Largura do CP, mm;
 h = Altura do CP, mm.

Após o processo, foi calculado também o módulo de elasticidade (E_M) para cada amostra ensaiada utilizando a Equação 11, conforme norma ASTM D198–09 (ASTM D198-09, 1997).

$$E_M = \frac{P_{LP}L^3}{4,7bh^3\Delta} \quad (11)$$

Onde:

E_M = Módulo de elasticidade, MPa;
 P_{LP} = Carga no limite proporcional, N;
 L = Comprimento do vão, mm;
 b = Largura do CP, mm;
 h = Altura do CP, mm;
 Δ = Deformação no limite proporcional, mm.

5.4.6 Preparação das peças e aplicação do filme de acabamento para testes de aderência

Das tábuas que foram previamente climatizadas (temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de $63 \pm 2\%$) foram confeccionadas 20 peças nas dimensões 400 mm x 100 mm x 10 mm. As peças foram aplainadas na face tangencial e colocadas sob climatização para estabilização do teor de umidade (12%). Após esse período, foi realizado o lixamento de cada peça com o auxílio de uma lixadeira semimanual (Figura 12), seguindo sempre o sentido da grã da madeira, em movimentos de “vai e vem” por 15 segundos. Obedeceu-se a

sequência de lixas propostas para cada tratamento (Tabela 5). Todas as lixas utilizadas eram compostas de costado de papel e grão de óxido de alumínio. O lixamento das peças foi realizado no mesmo dia e pelo mesmo operador, para assegurar uma melhor homogeneidade no processo.



Figura 12. Processo de lixamento da superfície da madeira, utilizando lixadeira semimanual.

A sequência das lixas empregadas, a identificação dos tratamentos, bem como o número de repetições estabelecidos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Tratamentos para o teste de acabamento.

Tratamento	Sequência de lixas (grão)	CP
T1	150 – 220 – 280	10
T2	100 – 150 - 180	10

Após o lixamento das peças, o excesso de pó resultante do processo foi removido com a aplicação de ar comprimido e com o auxílio de um pincel. Com a superfície da madeira preparada para o recebimento do filme de acabamento foi aplicado um fundo (selador), preparado com uma parte do Fundo FL 40.6480 e uma parte do Catalisador FC 6975 (Sayerlack), conforme recomendação do fabricante. Com o auxílio de uma pistola (Figura 13a), foram aplicadas duas demãos da mistura, respeitando o tempo de duas horas entre a primeira e a segunda demão, a cura completa da última demão se deu em, aproximadamente, 24 horas. Após a secagem de cada demão as superfícies foram lixadas manualmente no sentido da grã da madeira, com lixa grão 320.

Para o acabamento final, foi preparada uma mistura contendo uma parte do Verniz PU Brilhante FB 6120 com uma parte de diluente e uma parte do

Catalisador FC 6921 (Sayerlack). A primeira demão foi aplicada e após uma hora foi aplicada a segunda demão, sem lixamento entre elas (Figura 13b). A secagem final ocorreu em, aproximadamente, 72 horas. As peças seguiram para a sala de climatização por duas semanas para estabilização da umidade das peças (12%) e secagem do filme de acabamento.



Figura 13. Aplicação de filme de acabamento na superfície da madeira: (A) Preparação do filme de acabamento nas proporções específicas; (B) Aplicação do filme de acabamento com o auxílio de uma pistola.

5.4.7 Ensaio de aderência do filme de acabamento

O ensaio de aderência do verniz sobre a superfície da madeira foi realizado conforme a norma NBR 14535 (2000). Utilizando um estilete foram feitos cortes superficiais sobre as peças envernizadas, em forma de grade, formada por dois conjuntos, cada um com 11 canais em ângulos retos e distanciados em 2 mm (Figura 14).

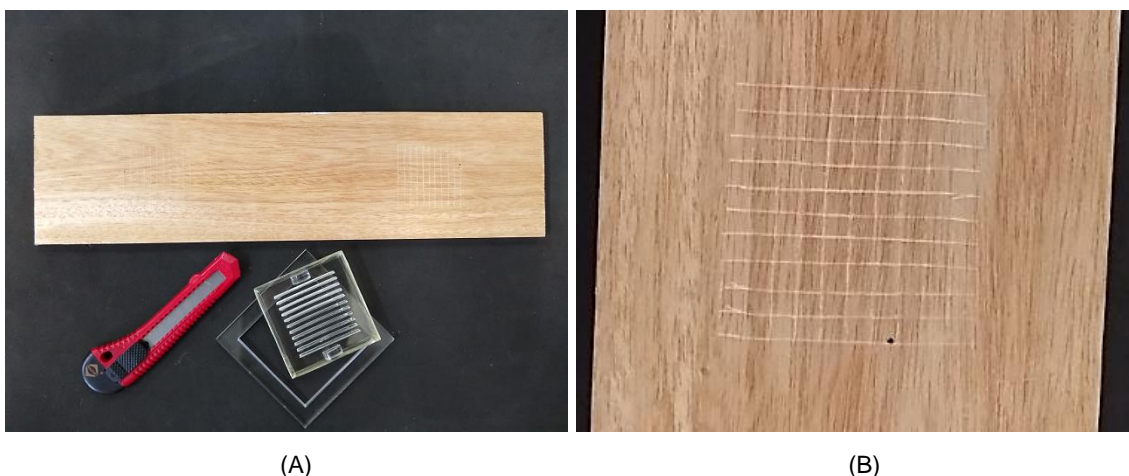


Figura 14. Ensaio de aderência do filme de acabamento da madeira: (A) Cortes superficiais na madeira com filme de acabamento utilizando estilete e grade de acrílico; (B) Detalhes dos cortes superficiais na madeira que recebeu filme de acabamento.

Utilizando uma lupa conta-fios (10x), cinco observadores avaliaram a área ensaiada, classificando-a conforme os códigos graduados (Tabela 6).

Tabela 6. Graduação da área ensaiada (NBR 14535, 2000).

Aparência da área ensaiada	Graduação
Cortes perfeitos sem nenhuma remoção do filme de acabamento, exceto pequenas partículas na interseção de corte, e uma eventual pequena apara ao longo do corte.	5
Filme de acabamento removido nas interseções de corte e intermitentemente ao longo dos cortes.	4
Filme de acabamento consistente removido ao longo dos cortes.	3
Filme de acabamento removido ao longo dos cortes e completamente de um ou mais quadrados, porém o total destes quadrados não deve superar mais do que 50% deles.	2
Filme de acabamento completamente removido de mais do que 50% dos quadrados.	1

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos para resistência ao cisalhamento da madeira colada foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) para observar se havia diferença entre as médias dos tratamentos. Havendo rejeição da hipótese de nulidade foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para diferenciação das médias dos tratamentos.

Posteriormente, os resultados do teste de resistência ao cisalhamento da madeira, foram analisados através do delineamento fatorial (2 x 2 x 2), avaliando o efeito do adesivo (PVAc e PUR), do procedimento de preparação da superfície (plaina e lixa) e da pressão (0,7 MPa e 1,0 MPa) sobre a resistência de colagem da madeira. Para analisar separadamente, o efeito de cada variável (adesivo, preparação da superfície e pressão) em relação à resistência de colagem da madeira de *K. ivorensis* ao cisalhamento, foi realizado uma análise fatorial dupla.

Para analisar os resultados do teste de resistência a flexão estática foi utilizada a média da resistência de colagem obtida pelos tratamentos, avaliando o efeito do adesivo sobre a resistência de colagem da madeira. A

análise de variância (ANOVA) foi utilizada para observar a diferença entre as médias dos tratamentos.

Tanto para as análises dos resultados obtidos para resistência ao cisalhamento quanto para resistência a flexão estática utilizou-se o Programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Já para analisar o teste de aderência do filme de acabamento da superfície da madeira, foi utilizada a média das graduações estipuladas pelos observadores em cada tratamento, relacionando-a a classificação estabelecida pela norma NBR 14535 (2000). Em seguida, foi feita uma apreciação do grau de aderência indicado por cada observador nas amostras avaliadas, tentando traçar um comportamento adotado por cada tratamento analisado.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *KHAYA IVORENSIS*

Os corpos de prova apresentavam teor de umidade médio de 12,59% no momento da colagem das peças, conferindo condição ideal para o processo.

Frihart e Hunt (2010) destacam que madeiras com alto teor de umidade dificulta a colagem, podendo induzir baixa eficiência de movimentação e penetração do adesivo na madeira, fazendo com que escorra ao aplicar alta pressão de colagem. Em contrapartida, Selbo (1975), Prata (2010) e Almeida (2011) complementam que madeiras com baixo teor de umidade provocam a evaporação da água presente na linha de cola muito rapidamente. Assim, o processo de cura do adesivo ocorre antes do adequado, resultando em alta adesão, porém o adesivo desaparece, tornando-se incapaz de preencher e umectar a madeira sob pressão na prensa (SELLERS, 1985; NISGOSKI, 1999; ALMEIDA, 2011).

A madeira de *K. ivorensis* aos 10 anos de idade pode ser classificada como de baixa densidade, já que apresentou densidade básica de 0,45 g/cm³ e densidade aparente de 0,55 g/cm³ (a 12% de umidade).

A densidade foi classificada conforme sugerida por Melo et al. (1990) e IBAMA (2016), que classificam as madeiras como leve (densidade básica < 0,50 g/cm³), médias (densidade básica de 0,51 a 0,72 g/cm³) e pesadas (densidade básica > 0,73 g/cm³).

Portanto, o resultado pode inferir que, ainda que a madeira estudada seja de baixa densidade, esta propriedade não afetou acentuadamente as ligações adesivas, pois, segundo Iwakiri (2005), em madeiras de baixa massa específica ocorre maior penetração de adesivo, podendo formar linha de cola “faminta”. Ao contrário, madeiras com alta massa específica apresentam menor volume de espaços vazios para que ocorra a penetração do adesivo, acarretando na diminuição da resistência da ligação adesiva entre as peças coladas (BURGER e RICHTER, 1991).

A baixa densidade da madeira estudada pode ser explicada pela proporção de madeira juvenil presente na árvore jovem (10 anos), já que este tipo de material formado possui menor densidade se comparado ao que é formado em árvores adultas.

A madeira de *K. ivorensis* proveniente de Garça - São Paulo, aos 07 anos de idade foi estudada por Lima et al. (2019), que encontraram o valor de $0,45 \text{ g/cm}^3$, classificando a madeira como de baixa densidade.

França et al. (2015) ao estudar a madeira de *K. ivorensis*, aos 19 anos de idade, encontraram valores de densidade básica de $0,49 \text{ g/cm}^3$. Os autores indicam a madeira de *K. ivorensis* para usos que não requerem alta resistência mecânica, como produção de móveis, compensados e acabamento superficial em construção civil, devido a sua baixa densidade.

Estudando a espécie com mesma idade (10 anos), provinda da cidade de Seropédica – RJ, com 30 cm de DAP e 8 m de altura do fuste, Silva (2010) e Carvalho et. al. (2010), encontraram valores semelhantes de densidade, equivalente a $0,47 \text{ g/cm}^3$.

A madeira estudada apresentou ainda, densidade verde e seca equivalentes a $1,11 \text{ g/cm}^3$ e $0,51 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. A densidade verde da madeira é determinada quando usada, por exemplo, em cálculo estrutural (trabalhando com a possibilidade de sua pior condição, em estado verde). Já a densidade seca, é usada no transporte da madeira, para estimar o quanto de água está sendo transportado.

As contrações da madeira de *K. ivorensis* nos sentidos radial, tangencial e longitudinal, a contração volumétrica e o coeficiente anisotrópico (CA) referente às nove árvores estudadas, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores médios de contração radial, tangencial e longitudinal, contração volumétrica e coeficiente anisotrópico da madeira de *K. ivorensis*.

Árvore	Contração (%)				CA
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Volumétrica	
1	3,24	5,81	1,13	10,98	1,80
2	4,10	6,17	1,26	12,55	1,51
3	5,80	6,65	1,40	15,33	1,15
4	3,85	5,74	1,38	11,88	1,50
5	4,20	5,64	1,60	12,43	1,35
6	4,66	6,56	1,43	13,88	1,41
7	3,99	7,52	1,74	14,62	1,88
8	3,73	6,53	1,87	13,25	1,75
9	3,47	5,46	2,23	12,09	1,59
Média Geral	4,12	6,23	1,56	13,00	1,55
CV (%)	5,58	4,01	5,15	3,34	6,84

CV = coeficiente de variação.

A contração média longitudinal de 1,56% pode ser consequência da proporção de madeira juvenil. Em madeiras adultas, a contração longitudinal é praticamente nula. Neste caso, é necessário certo cuidado na secagem e uso desta madeira para evitar defeitos.

Panshin e Zeeuw (1980) ressaltam que devido à madeira juvenil possuir parede celular mais fina, menor percentual de lenho tardio e maior ângulo microfibrilar na camada S₂ da parede celular, normalmente afeta de forma negativa, as propriedades de contração e anisotropia, gerando propriedades físicas mais instáveis.

A contração média tangencial foi de 6,23% e 4,12% no sentido radial, comportando-se de forma decrescente, conforme encontrado na literatura. As contrações tangencial e radial resultaram em contração volumétrica de 13,00%, sendo considerada contração média. A classificação foi feita seguindo a determinação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1985), que estabelece que, madeira com contração volumétrica entre 12,33% e 19,39% é considerada de média contração.

No entanto, Carvalho et al. (2010), encontraram valores de retração volumétrica superiores (16,8%) aos obtidos nesta pesquisa, para a madeira de

K. ivorensis, proveniente de uma parcela experimental em Seropédica, RJ, com 10 anos de idade e densidade básica média de 0,471 g/cm³.

Oliveira et al. (2010), relatam que a diferença de retratibilidade entre os sentidos radial e tangencial resulta em uma das principais causas de defeitos de secagem da madeira, sendo suscitados pela manifestação da anisotropia (quanto maior, a probabilidade de ocorrência de defeitos na madeira aumenta).

A relação entre a contração no sentido tangencial pela contração radial resultou em um coeficiente anisotrópico que se manteve em uma excelente estabilidade dimensional. É importante que o coeficiente esteja o mais próximo possível de 1, pois quanto mais se distancia deste valor, maior será a propensão da madeira à empenamentos e fendilhamento, podendo inviabilizar o produto final.

Juizo et al. (2015) relataram que, quanto ao coeficiente de anisotropia, quanto mais o resultado se aproxima de 1, maior é a estabilidade dimensional da madeira. Conforme a classificação de madeiras sugerida por Durlo e Marchiori (1992), quando o lenho adulto possui coeficiente acima de 2,0, enquadra-se como madeira ruim, já em relação ao lenho juvenil, enquadra-se como excelente, com fator na faixa de 1,2 a 1,5.

França et al. (2015), estudando a madeira de *K. ivorensis* com 19 anos de idade e massa específica de 0,49 g/cm³, encontrou valores para contração radial a 3,39%, tangencial a 5,58% e longitudinal a 0,21%, a contração volumétrica resultou em 9,18% e o coeficiente anisotrópico foi de 1,65%.

6.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE *KHAYA IVORENSIS*

6.2.1 Análise da resistência ao cisalhamento da madeira sólida e colada

A madeira sólida estudada neste trabalho, apresentou resistência ao cisalhamento equivalente a 11,39 MPa.

Ao estudar a madeira de *K. ivorensis*, aos 19 anos de idade, provenientes de um plantio em Sooretama - Espírito Santo, França (2015), encontrou valores de resistência ao cisalhamento de 12,6 MPa para a madeira sólida.

Appiah-Kubi (2008), estudando *K. ivorensis*, com 43 anos de idade em Gana (país de origem da espécie), relatou uma resistência da madeira sólida ao cisalhamento de 14,31 MPa.

A resistência ao cisalhamento da madeira colada variou de 11,36 a 15,54 MPa (Figura 15). Apenas um tratamento apresentou resistência da madeira colada ao cisalhamento, pouco inferior em relação à madeira sólida. Porém, a maioria dos tratamentos resultou em resistência da madeira colada ao cisalhamento, superior a da madeira sólida. Isso implica que a colagem feita utilizando os adesivos PVAc e PUR conferem à madeira colada, resistência suficiente para ser aplicada a usos diversos.

A análise de variância e teste de Tukey aplicados aos dados resulta em uma análise geral entre os tratamentos testados (Figura 15).

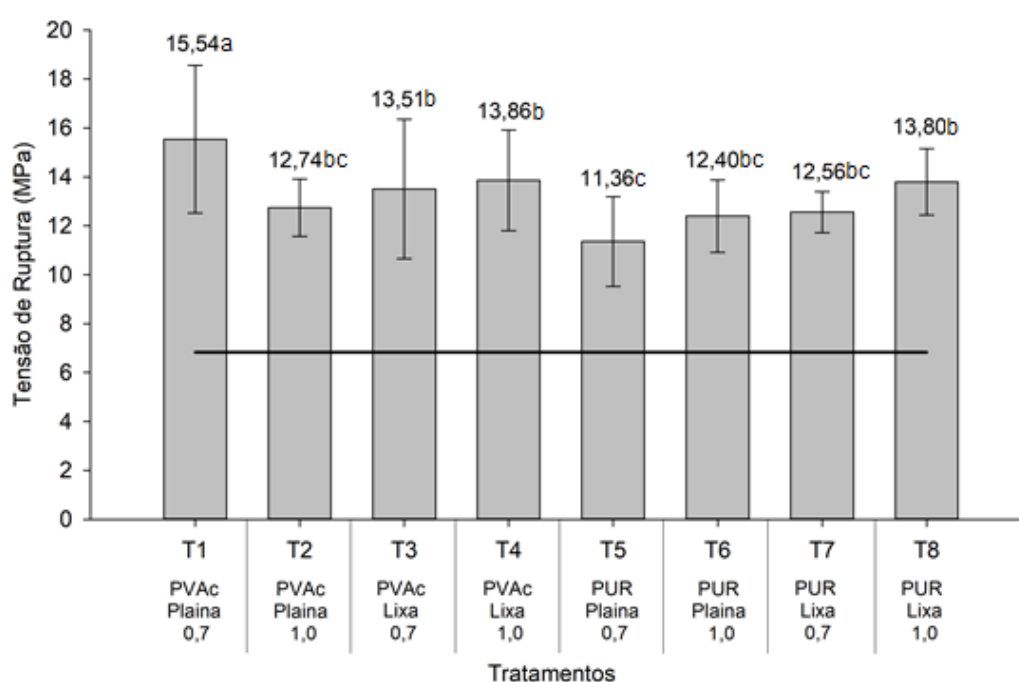


Figura 15. Valores médios da tensão de ruptura (MPa) e desvio padrão de cada tratamento. Linha horizontal representa o valor de resistência mínimo exigido pela norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado).

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

É possível observar que o T1 apresentou maior resistência da madeira colada ao cisalhamento e menor resistência nos tratamentos T3, T4, T5 e T8. De modo geral, os tratamentos usando o adesivo PUR, resultaram em menor resistência da madeira colada ao cisalhamento em relação à madeira colada com o adesivo PVAc.

Os valores encontrados neste trabalho são superiores aos encontrados por Özçifçi e Yapıcı (2008), que ao estudarem a espécie *Fagus orientalis* com

densidade $0,63 \text{ g/cm}^3$, observaram resistência ao cisalhamento de $12,02 \text{ MPa}$ para o adesivo PVAc e $8,85 \text{ MPa}$ para PUR.

Vital (2006), estudando a madeira de *Pinus elliottii*, em relação à sua resistência ao cisalhamento na linha de cola em juntas coladas com o adesivo PVAc de média viscosidade, obtiveram um valor médio de $9,5 \text{ MPa}$ de resistência.

Em ensaios realizados por Lopes (2013), em painéis de EGP fabricados com *Pinus elliottii* e adesivo PVAc de alta e média viscosidade, o autor encontrou valores de resistência média ao cisalhamento na linha de cola equivalentes a $5,41 \text{ MPa}$ e $5,64 \text{ MPa}$, respectivamente. Já para os painéis produzidos com *Pinus taeda* (espécie mais utilizada para a produção de EGP), a média da resistência encontrada para cisalhamento na linha de cola foi de $7,20 \text{ MPa}$.

Conforme exigências da norma ASTM D5751 (1999), o valor médio de resistência da madeira colada ao cisalhamento de cada tratamento deve corresponder a 60% da resistência ao cisalhamento da madeira sólida a 12% de umidade. A partir das análises dos cps, constatou-se que todos os tratamentos atingiram o valor exigido pela norma, já que 60% da resistência ao cisalhamento de madeira sólida é igual a $6,83 \text{ MPa}$ (Figura 15).

A norma ASTM D5751 (1999), exige ainda, que todos os corpos de prova dentro de cada tratamento devem corresponder a 30% da resistência ao cisalhamento da madeira sólida a 12% de umidade. E esse valor (30%) deve ser alcançado por 90% dos corpos de prova testados.

Após análise, torna-se possível observa-se que todos os corpos de prova dentro de cada tratamento também apresentou conformidade em relação à norma (Figura 16). Nota-se também, que os corpos de prova ultrapassaram 30% da resistência ao cisalhamento da madeira sólida, cujo valor é equivalente a $3,42 \text{ MPa}$.

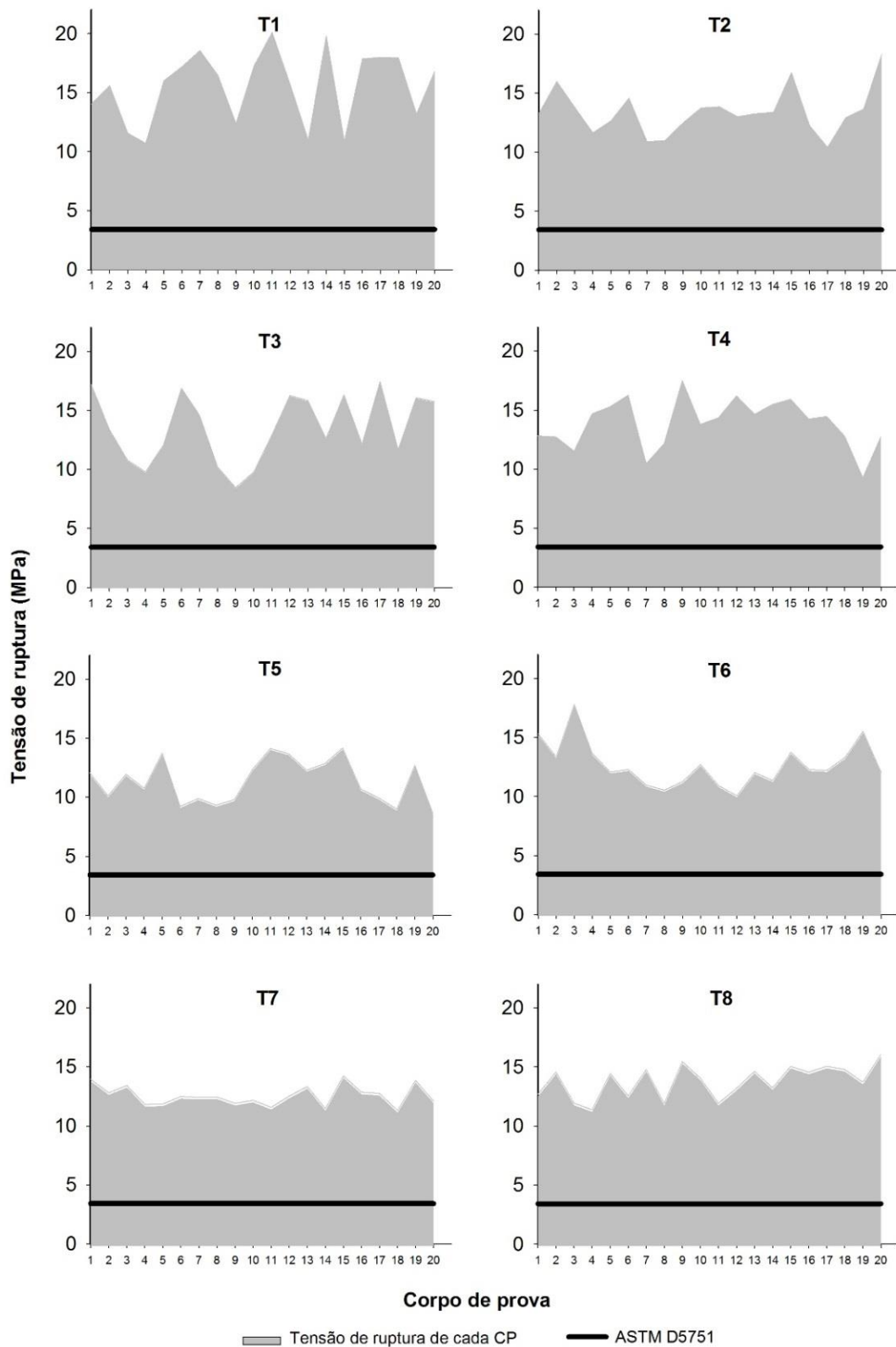


Figura 16. Valores da tensão de ruptura de cada CP dentro do seu respectivo tratamento (MPa). Linha horizontal representa o valor de resistência mínimo exigido pela ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado).

6.2.2 Análise fatorial da resistência ao cisalhamento da madeira colada

A análise fatorial avaliou o efeito de cada variável (adesivo, preparação da superfície e pressão) em relação à resistência de colagem da madeira de *K. ivorensis* ao cisalhamento (Figura 17).

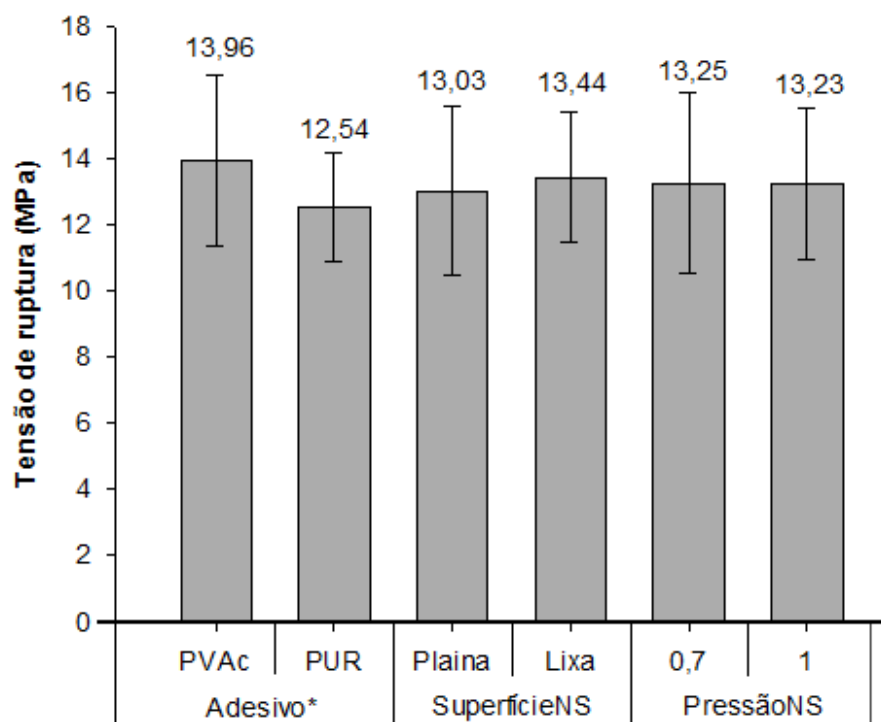


Figura 17. Valores médios da tensão de ruptura de acordo com o adesivo, preparação da superfície e a pressão.

^{NS} Não significativo; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Observou-se que houve diferença significativa entre os adesivos PVAc e PUR quando essa variável foi analisada separadamente. Quando analisada a variável preparação da superfície nota-se que não houve diferença significativa ao utilizar plaina ou lixa. A variável pressão também não diferiu estatisticamente.

A diferença significativa entre os adesivos mostra que os corpos de prova colados com PVAc apresentaram resistência de colagem superior aos que foram colados com o adesivo PUR.

Estudando a madeira de *Pinus taeda*, Lopes et al. (2013), observou que a resistência média da linha de cola utilizando o adesivo PU, em cisalhamento a seco, no sentido radial da madeira, foi igual a 9,61 MPa e no sentido tangencial igual a 8,43 MPa.

6.2.3 Efeito das variáveis sob o adesivo

A análise estatística aponta o efeito da preparação da superfície e pressão utilizadas na colagem, em relação ao adesivo PVAc (Figura 18).

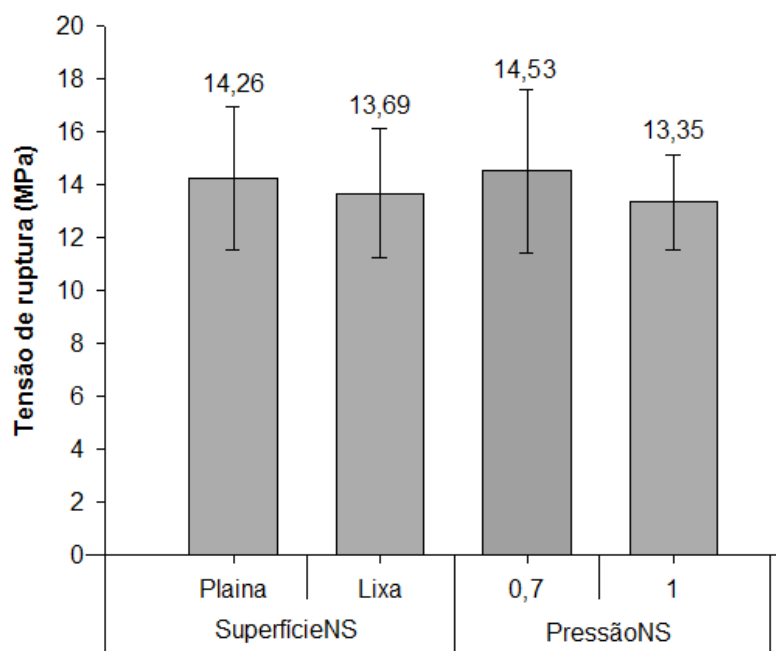


Figura 18. Valores médios da tensão de ruptura e desvio padrão das variáveis preparação da superfície e pressão em relação ao adesivo PVAc.

^{NS} Não significativo; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Não houve diferença significativa na preparação da superfície e na pressão quando analisado o adesivo PVAc.

O teste de efeito entre as variáveis mostra, de forma mais específica, a relação entre superfície e pressão utilizando o adesivo PVAc (Figura 19).

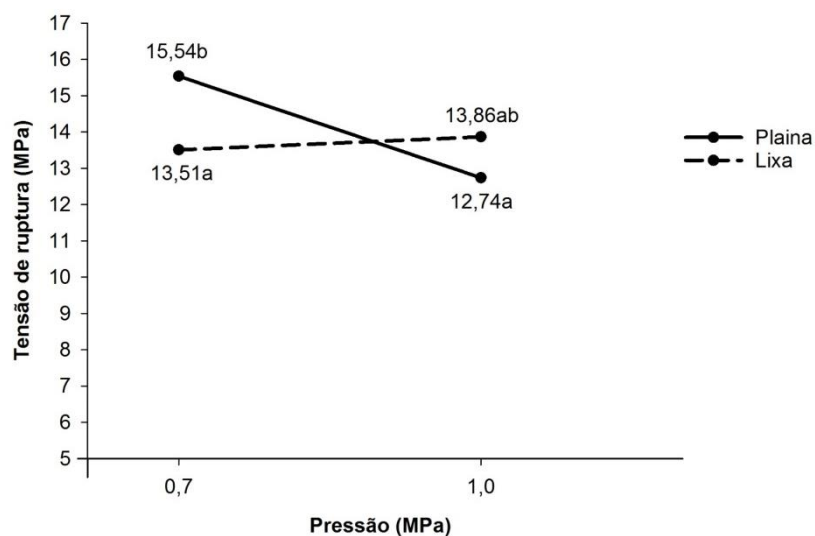


Figura 19. Interação entre a preparação de superfície e pressão sobre resistência do adesivo PVAc.

Ao analisar a variável preparação de superfície com lixa, nota-se que a pressão não exerceu influência sobre a mesma. Já para a preparação da superfície utilizando plaina, a pressão 0,7 MPa conferiu maior resistência de colagem às peças.

Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que, o processo de preparação de superfície de colagem utilizando a lixa resulta em uma superfície com maior exposição dos poros da madeira, permitindo ao adesivo PVAc, que é menos viscoso, boa umectação e ancoragem na madeira, independente da pressão de prensagem aplicada sobre as peças. Em contrapartida, a face preparada com a plaina, resulta em uma superfície vitrificada, assim, o adesivo PVAc por ser menos viscoso, pode movimentar-se de forma excessiva ao receber uma pressão acima do necessário, ou seja, o adesivo escorre, formando uma linha de cola ineficiente.

O adesivo PUR também foi analisado isoladamente com o intuito de averiguar a possível influência das variáveis preparação de superfície e pressão em relação à resistência das peças coladas ao cisalhamento (Figura 20).

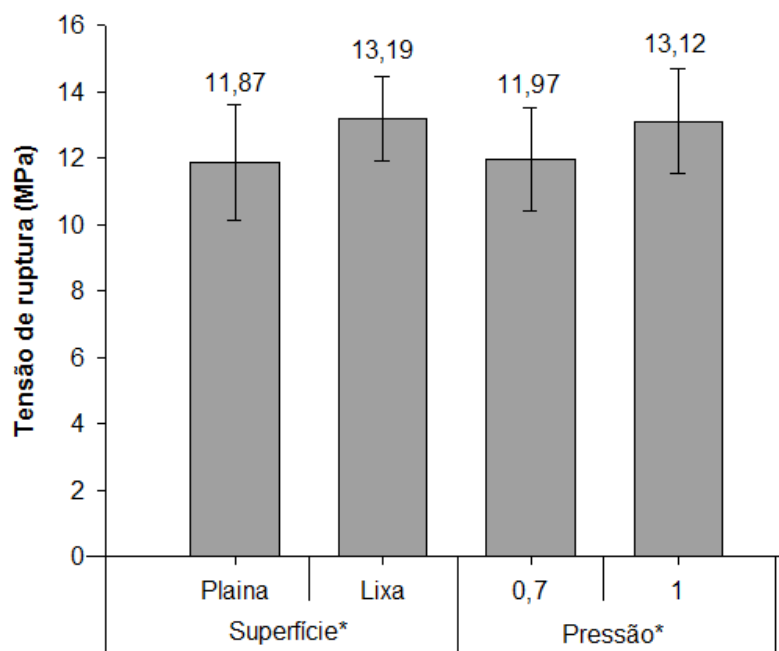


Figura 20. Valores médios da tensão de ruptura e desvio padrão das variáveis preparação da superfície e pressão em relação ao adesivo PUR.

^{NS} Não significativo; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

É possível observar a diferença significativa na preparação da superfície e pressão de colagem em relação à resistência dos cps quando utilizou o adesivo PUR. Ou seja, a resistência ao cisalhamento da madeira colada com PUR pode ser maior ou menor quando usa a lixa ou plaina e adoção de 0,7 ou 1,0 Mpa de pressão.

O comportamento do adesivo PUR pôde ser analisado de forma mais específica ao realizar o teste de efeitos entre as variáveis preparação de superfície e pressão (Figura 21).

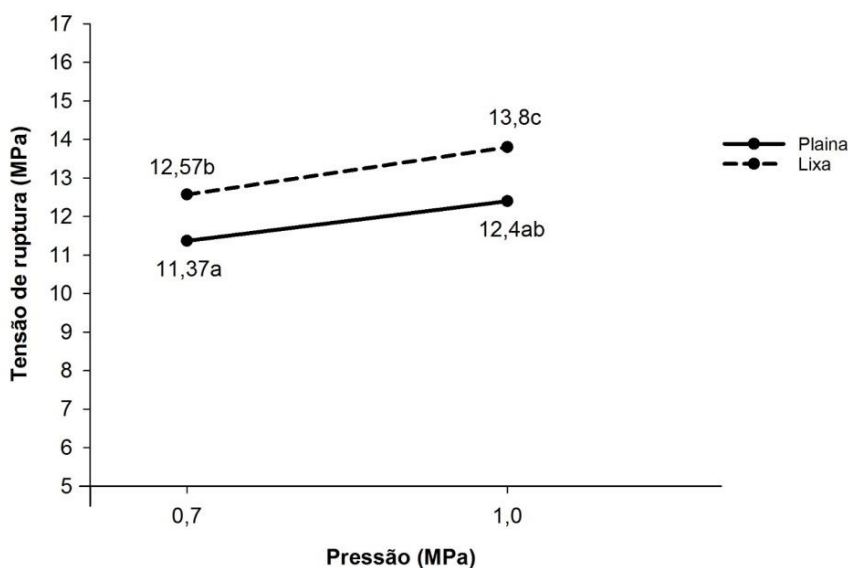


Figura 21. Efeito da preparação de superfície e pressão sobre o adesivo PUR.

Os valores de resistência ao cisalhamento utilizando o adesivo PUR foram influenciados pela preparação da superfície e pela pressão. Tanto para a preparação de superfície com plaina quanto com lixa a resistência ao cisalhamento foi crescente ao passo que aumentou a pressão. É notório que a resistência ao cisalhamento foi maior quando se utilizou a lixa para preparar a superfície de colagem e a pressão de 1,0 MPa no momento da prensagem das peças.

Este comportamento pode estar ligado ao fato de que por ser um adesivo mais viscoso, o PUR necessita de uma superfície mais porosa (proporcionada pela lixa) e maior pressão na prensagem para que haja a adesão ideal do adesivo às peças. A plaina, por sua vez, confere a madeira uma superfície vitrificada, que em consórcio com baixa pressão, dificulta este processo de colagem.

6.2.4 Porcentagem de falha na madeira

Todos os corpos de prova dentro de cada tratamento foram avaliados a fim de obter uma análise referente à eficiência dos adesivos PVAc e PUR e relação a colagem da madeira de *K. ivorensis* (Figura 22). A avaliação baseou-se na norma ASTM D5751 (1999), que exige que cada tratamento deve respeitar uma média de 60% de ruptura na madeira.

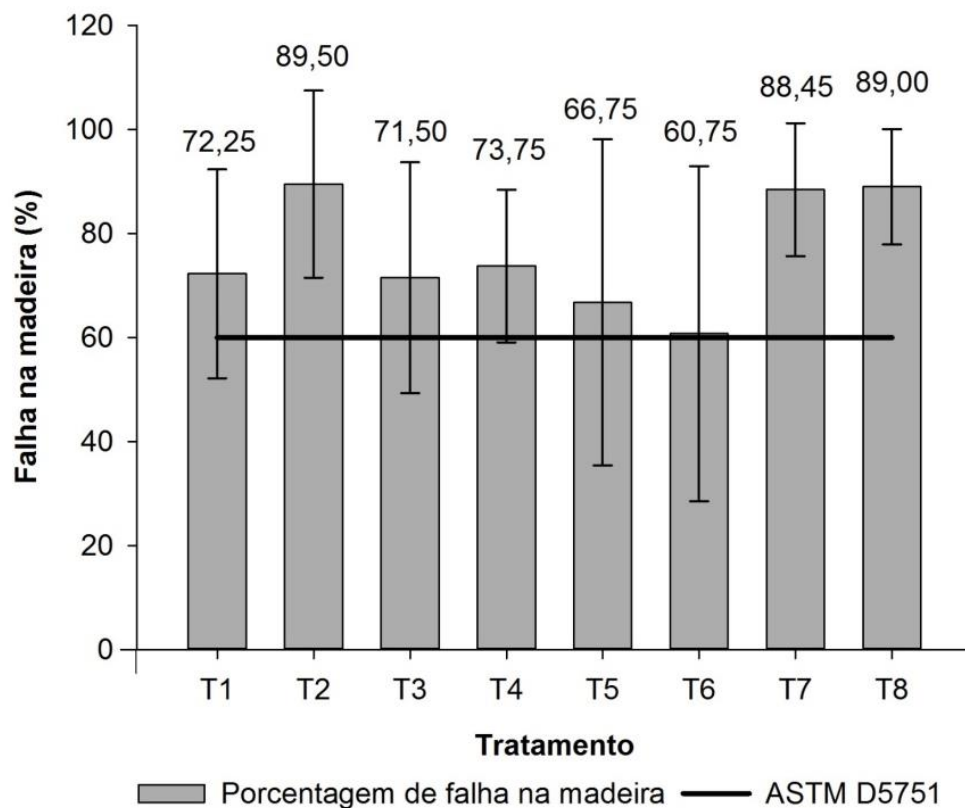


Figura 22. Percentual de falha na madeira de cada tratamento e o valor exigido pela norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999).

Observa-se que todos os tratamentos analisados respeitaram o que a norma ASTM D5751 (1999) exige quanto à eficiência do adesivo na colagem das peças. Os tratamentos T5 e T6 apresentaram menor porcentagem de falha na madeira, indicando menor resistência na linha de cola, ou seja, aponta que o adesivo PUR confere menor resistência de colagem a este tipo de material. Vale ressaltar que ambos (T5 e T6) foram colados com o adesivo PUR e utilizou-se a plaina para preparar a superfície de colagem, o que mostra que este tipo de preparo de superfície não favoreceu a adesão adequada do adesivo às peças.

No geral, o adesivo PVAc apresentou maior resistência a colagem para peças de madeira de *k. ivorensis*, permitindo dizer que o PVAc possui melhor eficiência em relação ao adesivo PUR, onde a média do percentual de ruptura na madeira foi de 76,75 e 76,24%, respectivamente.

Iwakiri et al. (2013) encontraram valor médio de cisalhamento de 7,10 MPa, obtido para juntas coladas de *Cryptomeria* com adesivo PVAc, com gramatura de 200 g/m² e os valores de porcentagem de falha na madeira variaram na faixa de 54,50% a 87,50%.

Vital et al. (2006) encontraram para madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* coladas com adesivo PVAc, percentagens de falhas na madeira de 35,69% e 52,44%, respectivamente.

Em estudo à madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de painéis colados lateralmente (EGP), Martins (2011) obteve resistência média ao cisalhamento de 11,14 MPa para peças coladas com o adesivo PVAc e resistência média ao cisalhamento de 10,72 MPa para as peças coladas com adesivo PUR e percentuais de falha na madeira equivalentes a uma média de 95,06% para o adesivo PVAc e 78,96% para o adesivo PUR.

Ao estudar algumas espécies, Boa et al. (2014), aponta que madeiras com densidade menor ou igual a 0,65 g/cm³, apresentam colagem de maior qualidade, resultando em peças com maior valor de resistência ao cisalhamento e maior falha na madeira.

A norma ASTM D5751 (1999), exige também que 90% dos corpos de prova avaliados dentro de cada tratamento atinjam um valor maior ou igual a 30% de falha na madeira. No geral, os corpos de prova de todos os tratamentos estiveram acima do recomendado pela norma, exceto nos tratamentos T1 e T2 em que um de seus corpos de prova ficou abaixo do valor, já no tratamento T5, observa-se que foram três corpos de prova e no tratamento T6 foram dois corpos de prova que não estiveram de acordo com o valor mínimo exigido pela norma (Figura 23).

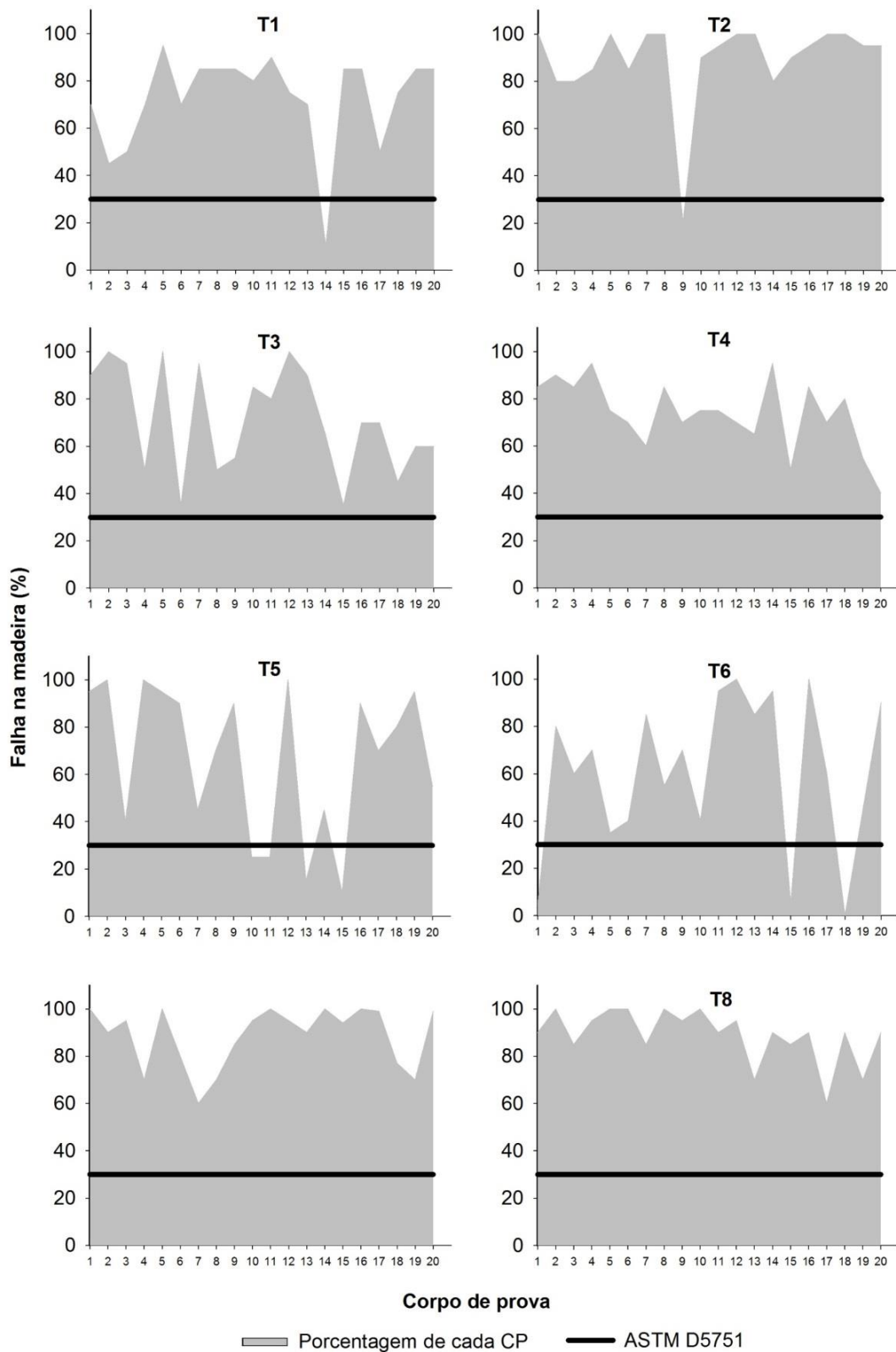


Figura 23. Percentual de falha na madeira de cada corpo de prova dentro de cada tratamento e o valor exigido pela norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999).

6.2.5 Análise estatística da resistência à flexão estática

O módulo de ruptura (f_M) médio dos dois tratamentos testados é apresentado na figura 24.

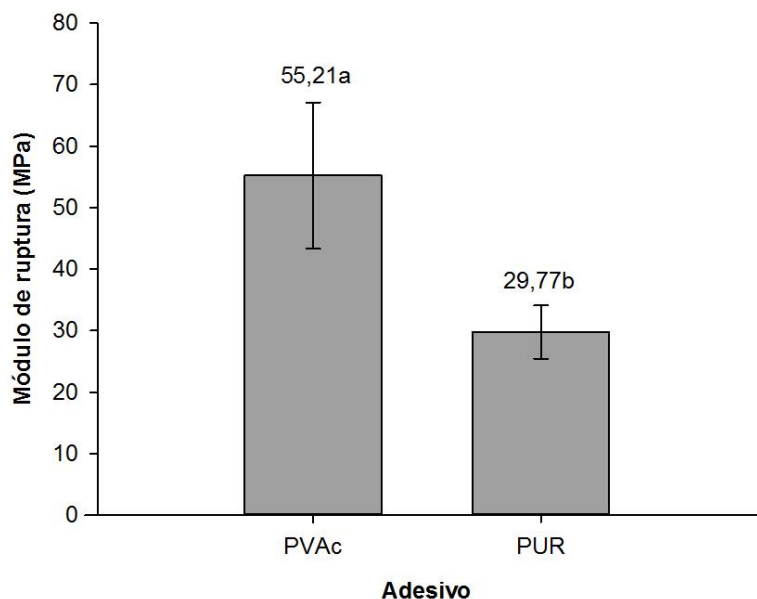


Figura 24. Valores médios do módulo de ruptura na flexão estática das peças em relação ao tipo de adesivo utilizado.

Houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos. O módulo de ruptura na flexão estática foi maior nos corpos de prova que haviam sido colados com o adesivo PVAc (55,21 MPa), apontando um comportamento de maior resistência assumido pelo PVAc, já o adesivo PUR (29,77 MPa) confere uma colagem menos resistente.

Martins (2011), encontrou valores para o *Eucalyptus benthamii* referentes ao uso dos adesivos PUR e PVAc classe D4, onde o adesivo PVAc mostrou-se superior ao PUR em relação a resistência à flexão estática, cujos valores foram de 68,0 MPa para o PVA D4 e 46,4 MPa para o PUR.

Estudando emendas coladas em madeira de *Fagus sylvatica*, usando o adesivo PVAc, Vassiliou et al. (2007), encontraram valores de módulo de ruptura equivalentes a 46,20 MPa, 64,45 MPa e 78,64 MPa para os adesivos de classe D1, D2 e D3, respectivamente.

Karastergiou et al. (2006) ao avaliarem a resistência à flexão estática usando o adesivo PVAc, obtiveram valores de módulo de ruptura de 68,6 MPa para adesivos da classe D1 e 85,6 MPa para adesivos de classe D3.

Para satisfazer os requisitos determinados pela norma ASTM D5572 (1995), todos os corpos de prova testados dentro de cada tratamento deveriam atingir um valor mínimo de 13,8 MPa de módulo de ruptura.

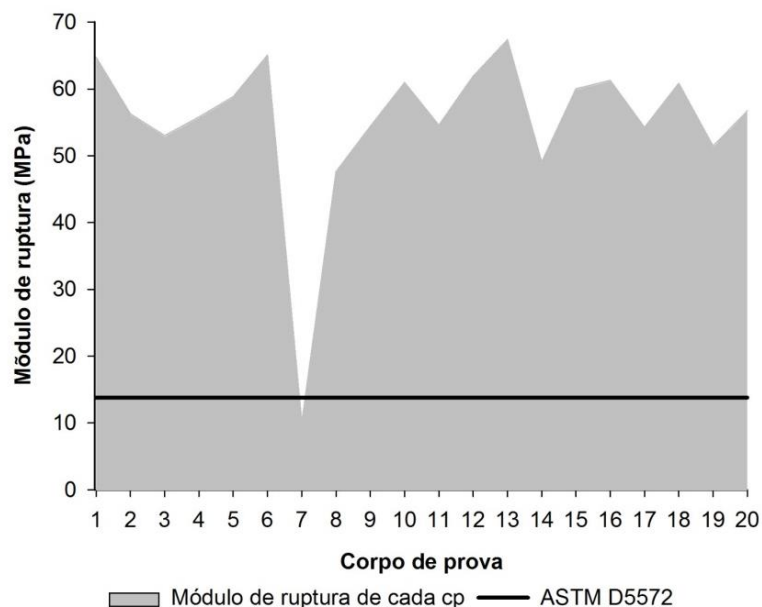


Figura 25. Módulo de ruptura na flexão estática de cada corpo de prova colado com adesivo PVAc e o valor exigido pela norma ASTM D5572 (ASTM D5572, 1995).

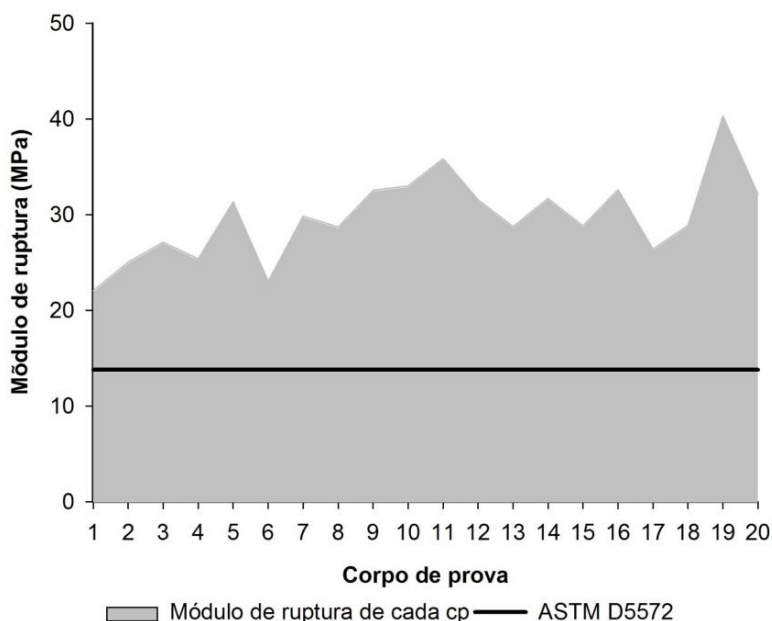


Figura 26. Módulo de ruptura na flexão estática de cada corpo de prova colado com adesivo PUR e o valor exigido pela norma ASTM D5572 (ASTM D5572, 1995).

Tanto os cps colados com o adesivo PVAc quanto com o adesivo PUR, se enquadraram dentro do valor exigido pela norma (Figuras 25 e 26). No tratamento T1 com PVAc apenas um corpo de prova esteve abaixo deste valor,

porém, o tratamento ainda está de acordo com a norma, sendo até mesmo superior ao tratamento T2 que utilizou o adesivo PUR.

O módulo de elasticidade (E_M) de cada tratamento testado é apresentado na figura 27.

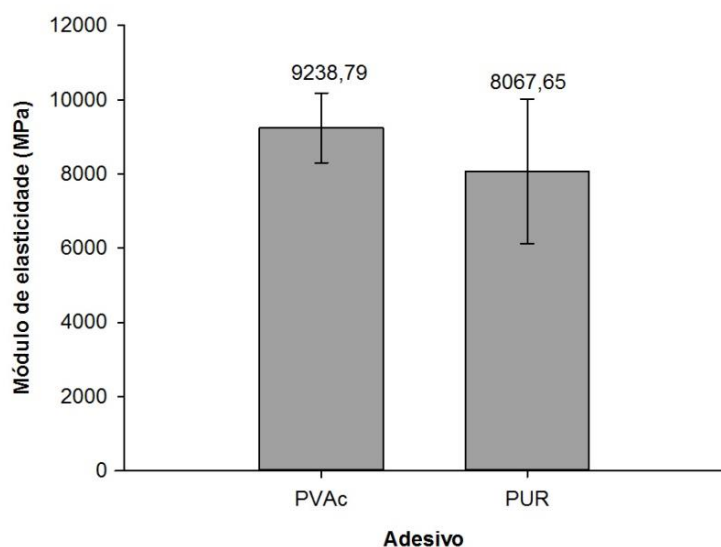


Figura 27. Valores médios do módulo de elasticidade na flexão estática em relação ao tipo de adesivo utilizado na colagem das peças.

* Houve diferença significativa ao nível de 5%.

No que se refere ao módulo de elasticidade da madeira de *K. ivorensis*, houve diferença significativa entre os adesivos PVAc e PUR a nível de 5% de probabilidade. O adesivo PVAc apresentou superioridade em relação ao PUR quanto à resistência a deformações causadas ao material testado.

Os valores de módulo de elasticidade encontrados neste estudo para a madeira de *K. ivorensis* foi superior a maioria dos valores encontrados por alguns autores ao estudarem a espécie de diferentes sítios e idades (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *K. ivorensis* (12% de umidade).

Local	Idade (anos)	Flexão Estática		Autor
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	
São Miguel do Guamá - PA	11	54,33	7.900	Rezende et al. (2012)
Linhares - ES	19	78,4	9.580	França et al. (2015)
Gana	43	81,47	9.230	Appiah-Kubi et al. (2016)

Os baixos valores de módulo de ruptura e módulo de elasticidades referentes à madeira de *K. ivorensis* podem ser explicados pela idade jovem do material estudado.

6.2.6 Aderência do filme de acabamento

Os resultados da média de aderência do filme de acabamento dos tratamentos T1 e T2 são apresentados na figura 28.

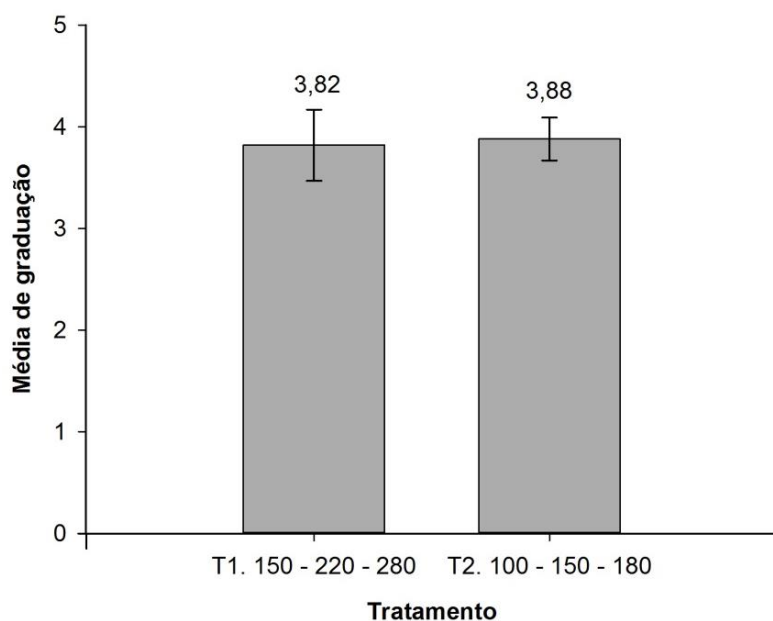


Figura 28. Resultados médios e desvio padrão de cada tratamento.

Independente da sequência de lixas adotadas, os dois tratamentos apresentaram ótimo desempenho, indicando que a madeira de *K. ivorensis* possui bom comportamento em relação à aderência de acabamento de superfície com verniz à base de poliuretano. Ambos receberam média entre 3 e 5 que se referem a maior aderência do filme de acabamento, conforme norma NBR 14535 (2000).

Uma avaliação individualizada entre os corpos de prova de cada tratamento foi realizada por cinco avaliadores, visando encontrar desempenho distinto entre os tratamentos (Figura 29). As avaliações foram realizadas por cinco avaliadores, a fim de obter maior riqueza de pareceres.

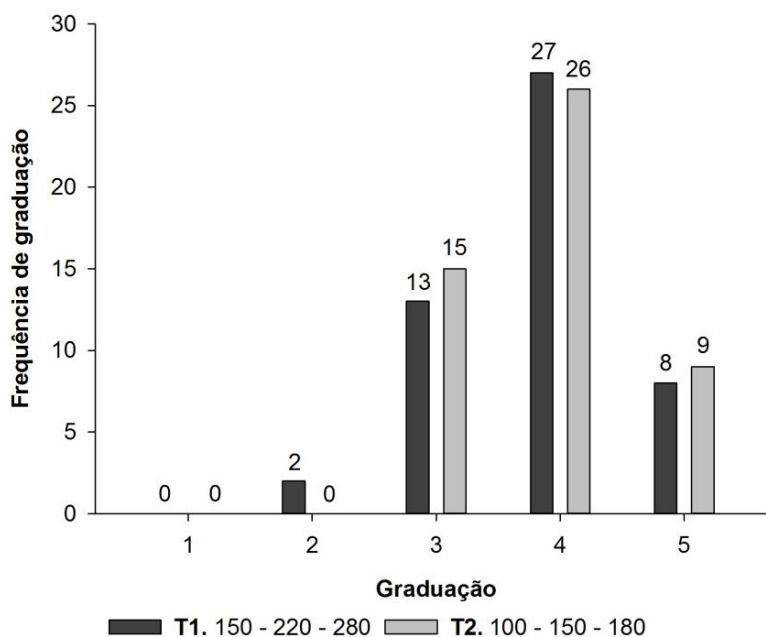


Figura 29. Frequência de graduação de aderência do filme de acabamento dos tratamentos.

Nenhum dos tratamentos foi classificado em graduação 1 e apenas o T1 (150 – 220 – 280), recebeu graduação 2 em duas de suas amostras, comprovando a boa aderência do filme de acabamento. À medida que aumenta a graduação entende-se que o tratamento obteve melhor comportamento aderente. O T1 obteve maior frequência de graduação 4, em consequência, foi menor nas graduações 3 e 5 em relação ao T2.

O tratamento T2 (100 – 150 – 180), apresentou maior frequência de grau 3 e 5, e, 26 das 50 observações de suas amostras receberam graduação 4. Pode-se inferir que o tratamento que adotou lixas de grãos maiores (T2), obteve maior aderência do filme de acabamento na superfície da madeira testada.

Em relação à usinagem da madeira de *K. ivorensis*, aos 10 anos a mesma apresentou bom desempenho nos testes para ser utilizada na indústria moveleira ou para fins de acabamento superficial (CARVALHO et al., 2010).

Estudando *Eucalyptus benthamii*, Martins (2011), constatou que o tratamento com sequência de lixas 100 – 150 – 180 obteve o maior número de classificação 5 entre os tratamentos, onde 66% das observações receberam a graduação máxima e nenhuma amostra recebeu sequer uma classificação como grau 1, 2 e 3.

Souza et. al (2011), ao estudar a aderência do filme acabamento em dois clones de eucalipto com idades diferentes: *E. camaldulensis* aos 10 anos, *E. urophylla*, aos oito anos e *E. urophylla*, de seis anos, relata que dos clones de Eucalyptus apresentou bom desempenho em relação ao acabamento superficial com verniz à base de poliuretano. Apesar de não haver diferença significativa entre os clones, a madeira de *E. camaldulensis*, de dez anos, apresentou o melhor resultado, resultando em peças aprovadas com 100% de aderência, seguido do clone de *E. urophylla*, de oito anos, e por último do clone de *E. urophylla*, de seis anos. O clone de *E. urophylla*, de seis anos, apesar do pior desempenho em relação à aderência, obteve aprovação de 100% das peças avaliadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo dos resultados alcançados neste trabalho, torna-se possível concluir que é possível produzir Painéis Colados Lateralmente (EGP), de boa qualidade utilizando madeira de desbaste da espécie de Mogno africano, *K. ivorensis*, em idade jovem (10 anos), no que diz respeito à resistência a colagem e acabamento.

Propriedades físicas da madeira

- A madeira de *K. ivorensis* possui densidade baixa;
- O baixo coeficiente de anisotropia da madeira de *K. ivorensis* confere sua média estabilidade dimensional;
- A contração longitudinal é considerável, provavelmente, devido a presença de madeira juvenil.

Propriedades mecânicas da madeira

- O adesivo PVAc confere maior resistência ao cisalhamento da madeira colada de *K. ivorensis*, mostrando superioridade em relação ao adesivo PUR;
- A maior resistência à colagem foi obtida pelos corpos de prova que foram colados com o adesivo PVAc, utilizando a lixa para preparação da superfície de colagem e pressão 0,7 MPa;

- Em relação à utilização do adesivo PUR, a resistência ao cisalhamento foi influenciada pela preparação da superfície e pela pressão. A resistência foi maior quando se utilizou lixa e pressão de 1,0 MPa;

- No teste de resistência ao cisalhamento todos os tratamentos atingiram o valor exigido pela norma ASTM D5751, bem como cada corpo de prova dentro de cada tratamento, tanto para a tensão de ruptura quanto para a falha na madeira;

- O adesivo PVAc apresentou maior resistência de colagem (f_M) no *Finger Joint* e superioridade em relação ao PUR no que se refere à elasticidade do material (E_M). Os dois tratamentos atingiram o valor de resistência exigido pela norma.

Aderência do filme de acabamento

- A madeira de desbaste (10 anos) de *K. ivorensis* possui bom comportamento à aderência de filme de acabamento (verniz à base de poliuretano) em sua superfície.

8. RECOMENDAÇÕES

O painel colado lateralmente (EGP) confeccionado com a madeira de *K. ivorensis*, ainda é um produto que não está disponível no mercado, tornando-se necessário a realização de diversos outros estudos que comprovem seus benefícios. A partir disso, sugere-se:

- Classificar a cor da madeira de *K. ivorensis* pelo teste de colorimetria;
- Testar diferentes tipos de adesivo, gramatura e tempo de prensagem da madeira;
- Confeccionar o EGP com a madeira de *K. ivorensis*, seccioná-lo e realizar testes de cisalhamento e flexão, a fim de comparar com o painel que há no mercado (Pinus e Eucalipto), no que diz respeito à sua resistência;
- Realizar testes de usinagem: furação em cavilha e para dobradiça, teste de rasgo em furadeira, teste de fendilhamento por pregos, etc.;
- Avaliar a qualidade do acabamento através de ensaios de brilho, resistência à abrasão, impacto e resistência química e diferentes produtos de acabamento de superfície.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 158-166, 2000.

ALMEIDA, N. F. de. **Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de lâminas e manufatura de compensados**. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setor de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente - EGP**. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143**: Standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 5572**: Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products. 23p. West Conshohocken, United States. 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 5751**: Standard Specification for Adhesives Used for Laminate Joints in Nonstructural Lumber Products. 18p. West Conshohocken, United States. 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D198-09**: Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes. 26 p. Pennsylvania, 1997.

AMOA, M.; KWARTENG, F. O.; DADZIE, P. K. Bending properties and joint efficiency of some tropical hardwoods finger-jointed in green and dry states. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 11 n. 1, p. 5764, 2014.

APPIAH-KUBI, E. The mechanical properties of plantation grown *Khaya ivorensis* from Ghana. In: STEPHEN, T. L.; APPIAH-KUBI, E.; ESSIEN, C.; OPUNIFRIMPONG, E.; KORANG, J.; SARAH, P.; OWUSU, F. W. (Org.). **Wood and lumber quality of plantation grown *Khaya ivorensis***. [S.l.]: ITTO, p. 40-57, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira: Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14535**: Móveis de madeira – Tratamento de superfícies – Requisitos de proteção e acabamento: Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MOGNO AFRICANO - ABPMA. **Home**. Disponível em: < <http://abpma.org.br/>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

BANDEL, A. **Adhesivos y Tecnología del Encolado en la Industria de la Madera**, 288f. Milano, 1991.

BARBOSA, L. H. A. **Irrigação em plantas jovens de mogno africano (*Khaya ivorensis*) no Cerrado**. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Goiás-UFG, Goiânia, 2014.

BAYER MATERIAL SCIENCE. **Adesivos PURBOND®** para estruturas de madeira. Disponível em: <<http://www.purbond.com/purbond/South-American/EN/Publications/Purbond-Brochures/>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

BENDTSEN, B. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Madison, v.28, n.10, p.61-72, 1978.

BIANCHI, K. E. **Concepção de uma máquina CNC para medição e usinagem de peças em madeira**. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Setor de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

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.

BUSTOS, C.; BEAUREGARD, R.; MOHAMMAD, M.; HERNÁNDEZ, R. E. Structural performance of finger-jointed black spruce wood lumber with different joint configurations. **Forest Products Journal**, Madison, v. 53, n. 9, p. 72-76, 2003.

BURGER LM & RICHTER HG. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel. 154 p., 1991.

BRANDNER, R., FLATSCHER, G., RINGHOFER, A. SCHICKHOFER, G.; THIEL, A. Cross laminated timber (CLT): overview and development. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, n. 3, pp. 331–351, 2016.

BRASIL, A. M. B. Secretaria de Política Agrícola (Comp.). **Série Agronegócios: Cadeia Produtiva de Madeira**. 6. ed. Brasília: Editora Qualidade. 81 p., 2007.

ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; KORKUT, D. S.; KURTOGLU, A.; ERDINLER, S.; ULAY, G. The effects of protective dye layer applied on varnish layer hardness, scratch resistance and glossiness of various blockboard types. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 10, p. 2303 - 2308, 2011.

ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; GÜLER, F. D. Effects of heating treatment on some of the physical properties of varnish layers applied on various wood species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 9, p. 1578 - 1585, 2011.

ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; KORKUT SEVIM, D. Varnish Layer hardness, scratch resistance, and glossiness of various wood species as affected by heat treatment. **BioResources**, v. 6, n. 2, p. 1648 - 1658, 2011.

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, n. 1, p. 106 – 114, 2010.

COLODETTE, J.L., GOMES, C.M., GOMES, F.J.; CABRAL, C. P. The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**. v. 25, n. 1, p. 1 – 8, 2014.

CONTI A. C. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de Eucalyptus** 103 f. Tese (Doutorado na Área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

COOL, J.; HERNÁNDEZ, R. E. Improving the sanding process of black spruce wood for surface quality and water-based coating adhesion. **Forests Products Journal**, v. 61, n. 5, p. 372–380, 2011.

CORRÊA, C. G. Técnicas de Colagem de Madeiras com Adesivos Vinílicos. **Catálogo**. Borden Química Indústria e Comércio Ltda, 68 p., 1997.

CORTEZ-BARBOSA, J.; SILVA, J. R. M.; ALVARENGA, F.; SOUZA, A. J. D.; ARAUJO, V. A.; GARCIA, J. N. Simulation Analysis of In-Service Bamboo and Pine EGP Composite Flooring. **Advanced Materials Research**, v. 1025-1026, p. 233-240, 2014.

COUTO, L.C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L.F; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, v.1, n. 1 , p. 71-92, 2004.

DANAWADE, B. A.; MALAGI, R. R.; PATIL, B. S.; HANAMAPURE R.S. Effect of finger joint on flexural strength of teak wood. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 6, p. 4929 - 4937, 2014.

DIAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, P. V.; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA J. V. F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 1, p. 93 - 107, 2013.

DUARTE, R. S.; CARRASCO, E. V. M. **Avaliação do comportamento de ligações com parafusos auto-atarraxantes e vigas de MLC**. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

DUNKY, M.; PIZZI, T.; CRUZ, H.; GRUNWALD, D.; HEINRICH, H.; KUILEN, J. W.G. V. de; ORMSTAD, E. B.; PICHELIN, F.; PULKKINEN, P.; LINDBERG, L.S.; SCHEIKL, M.; TOMKINSON, J.; WALINDER, M. **Wood adhesion and glued products**. Working group 1: wood adhesives. v. 1. Belgium, 2003.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, Série Técnica, 10, 33p., 1992.

EUROPEAN STANDARD. **EN 204: 2001** Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. 8 p. Brussels: 2001.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/GF>>. Acesso em: 20 de nov. 2019.

FALESI, I.C; BAENA, A. R. C. **Mogno-africano *Khaya ivorensis* A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo**, Belém: Embrapa Amazônia Oriental. n. 4 . 52p. Embrapa Amazônia Oriental. 1999.

FAZANO, C. A. T. V. **Tintas: Métodos de controle de pinturas e superfície**. Brasil. Hemus. 287p. 1989.

FAZENDA, J. M. R. Tintas imobiliárias de qualidade: o livro de rótulos da ABRAFATI. **Editora Blucher**. São Paulo: 2008.

FOELKEL, C. E. B. **Unbleached kraft pulp properties of some, of the Brazilian and U. S. pines**. 192 f. Dissertation (Master of Science in Forestry) – College of Environmental Science and Forestry, 1972.

FOELKEL, C. "**Edge Glued Panel**" (Painel de Madeira Colado Lateralmente). *Pinus letter*, 2008. Disponível em: <http://www.celsofoelkel.com.br/pinus_08.html> Acesso em: 03 jan. 2020.

FONTE, A. P. N. da. **Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial**. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2016.

FPL. U. S. PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook – Wood as an engineering material**. Department of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory. 463p. Madison, 1999.

FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. P.; 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, 2015.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials Bond formation and Performance. PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook - Wood as an engineering material**, chapter 10, p. 1–24, 2010.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (editores). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 498p. 2002.

GUEDES, J. S. **Estudo e otimização do acabamento de orlas em tampos de mesas escolares**. 43 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Setor de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2011.

HERNANDEZ, R. Analysis of strain in finger-joint lumber. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING. **Proceedings...** Montreux: J. Natterer and J.-L. Sandoz, v. 1, n. 5, p. 145-152. 1998.

IBAMA - **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Banco de dados de madeiras brasileiras. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/resultado.php?>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, IBÁ. **O SETOR BRASILEIRO DE ÁRVORES PLANTADAS**. Brasília, p. 2 – 6, 2018. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo2018.pdf.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **O SETOR BRASILEIRO DE ÁRVORES PLANTADAS**. Brasília, p.36 – 50, 2019a. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, IBÁ. **ESTATÍSTICAS DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES/3º TRIMESTRE DE 2019**. Brasília, p.2 – 5, 2019b. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/e-mail-marketing/cenarios/59-cenarios.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2020.

- IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 247 p. 2005.
- IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D. de; BÔAS, B. T. V. 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.
- IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. NASCIMENTO, C. C.; GUMANE, C.; LENGOWSKI, E. C.; SCHARDOSIN, F. Z.; AZAMBUJA, R. Resistência das juntas coladas de madeiras de *Inga alba* (SW) Willd e *Swartzia recurva* Poepp. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 457 - 463, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS, IBF. **Mogno Africano é um bom investimento para 2018?** Londrina – PR, 2018. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/blog/1079-mogno-africano-e-um-bom-investimento-para-2018.html>>. Acesso em: 03 dez. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. 2005.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada?**. (Boletim ABPM, 36). São Paulo, 1985.
- JOKERST, R. W. **Finger-Jointed Wood Products**. Washington: USDA, Forest Products Laboratory, 24 p. 1981.
- JUIZO, C. G. F.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; MARCHESAN, R.; CARVALHO, D. E.; BILA, N. F.; EGAS, A. F.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. **Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 35, n. 83, p. 285-292, 2015.
- KARASTERGIOU, S.; BARBOUTIS, J.; VASSILIOU, V. Effect of the PVA gluing on bending strength properties of finger jointed turkey oakwood (*Quercus cerris* L.). **Holz als Roh – und Werkstoff**, v. 64, n. 1, p. 339-340, 2006.
- KLEIBERIT. **Competence PUR**. Germany, 1 p. 2019. Disponível em: <https://wood-furniture.kleiberit.com/fileadmin/Content/Documents/EN/Info_Sheets/501_PUR_Leim_GB_US.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- KLEIN, D. R.; ANDRADE, M. M.; DERENGOSKI, J. A.; DUARTE, E.; KREFTA, S. M.; DA SILVEIRA, A. C.; BRUN, E. J. Aspectos gerais e silviculturais de *Cordia americana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Toona ciliata*, e *Khaya* spp. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 155-164, 2016.
- KUILEN, J. W. G. V.; CECCOTTI, A.; XIA, Z.; HE, M. **Very tall wooden buildings with cross laminated timber**. In: East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. Hong Kong. Proceedings... Hong Kong: Elsevier, p. 1621-1628, 2011.
- LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E.C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n.1, p. 279-291, 2000.

LEMMENS, R. H. M. J. *Khaya ivorensis*. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. (Eds.). **Plant resources of tropical Africa**. Wageningen: PROTA Foundation, 2008.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 73-77, 2008.

LIMA, P. A. F.; ALBUQUERQUE, L. B.; MALAQUIAS, J. V.; GATTO, A.; AQUINO, F. G. Eficiência de regenerantes como indicador de restauração ecológica no Cerrado, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias** (Lisboa), v. 39, p. 72-79, 2016.

LIMA, F. C. C.; SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F.; CIRIELLO, V.; CIRIELLO, E. Determinação da massa específica básica e índice de rachadura de toras das espécies *Khaya senegalensis* (Mogno africano), *Khaya ivorensis* (Mogno africano) e *Calophyllum brasiliense* (Guanandi). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal da FAEF**, v. 33, n. 1, p. 17-27, 2019.

LOPES M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. 110f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2008.

LOPES, M. C.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; TANOBE, V. O. A.; CHINASSO, C. A. F.; ROSSO, S. Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. **Cerne**, v. 19, n. 4, p.613-619, 2013.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 176 f. Tese (Doutorado em Gestão do Design e do Produto) - Setor de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MARRA, A.A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. Nova York, Van N. Reinhold, 454 p.,1992.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL)**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. **Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira**. Laboratório de Produtos Florestais – DIRPED – IBAMA. Brasília, 1990.

MELO, J. E. **Estruturas de madeira**. Universidade de Brasília – FAU – TEC, Laboratório de Produtos Florestais – DIREN – IBAMA. Brasília, 2001.

MURARA JUNIOR, M. I.; PERES, R. R. Avaliação de linhas de colagem de painéis EGP utilizando madeiras de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*. **Murara**, p. 1 - 17, 2010.

NISGOSKI, S. **Identificação e caracterização anatômica macroscópica das principais espécies utilizadas para laminação na região de Curitiba - PR**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

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

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.

OSTAPIV, F. **Resistência mecânica do material compósito: madeira de Eucalipto-lâmina de bambu**. 148f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Guaratinguetá, 2011.

ÖZÇİFÇİ, A.; YAPICI, F. Effects of machining method and grain orientation on the bonding strength of some woods species. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 202, p. 353-358, 2008.

ÖZKAYA, K. Study of the bending modulus of elasticity of edge glued wooden panels with different width joinings. **Technology**, v. 14, n. 2, p. 67–73, 2011.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4. ed., 1980.

PAGEL, H. F.; LUCKMANN, E. R. A new isocyanate containing wood adhesive. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 40, p. 191-202, 1984.

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

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York, Marcel Dekker, 1994.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge glued panels – EGP)**. 107f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2010.

PURBOND. **Boletim técnico PURWELD® 1052**. Suíça: Purbond – Adhesive systems for engineered wood. 1p. 2007.

REMADE. Trinta princípios da colagem de madeira. **Revista da Madeira**, n. 65, 2002.

REMADE, MADEIRAS - PMVA - Produtos de Maior Valor Agregado. **Revista da Madeira**. 2008.

REMADE. Técnicas de lixamento melhoram acabamento para madeira. **Revista da Madeira**, v. 122, p. 1 - 2, 2010.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; MONTEIRO, T. C.; PAULA, L. E. R. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de *Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis* (mogno-africano). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: EBRAMEM; 2012.

RINNE, E.; HAKKARAINEN, J.; RIKKINEN, J. Comparative ecological wood anatomy of African mahogany *Khaya ivorensis* with special reference to damage caused by

Hypsipyla robusta. **European Journal of Scientific Research**, v. 51, n. 1, p. 265-270, 2011.

ROSSI, E.; SARTORETTO, L. M. Caracterização de Três Espécies Florestais de Importância Econômica. **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 5, n. 2, p. 145-152, 2014.

SANTOS, V. B.; SANTOS, L. C. S.; SANTANA, J. C. S.; CAETANO, M. M., SILVA, G. C. Propriedades físicas de espécies utilizadas no setor da construção civil em Vitória da Conquista – BA. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.14 n.25; p. 1090, 2017.

SELBO, M. L. **Adhesive bonding of wood**. Technical bulletin. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. v. 1512, 124 p. 1975.

SELLERS, J. R. T. **Plywood adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p.

SENFT, J.F.; BENDTSEN, B.A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. **Journal of Forestry**, Washington, v.83, n.8, p.476-85, 1985.

SILVA, J. D. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002a.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* hill ex. Maiden**. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002b.

SILVA, J. R. M.; ALVES, J. de A.; NOGUEIRA, M. de O. G.; BRAGA, P. P. de C. Qualificação da superfície acabada em madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Toona ciliata* M. Roemer e *Coffea arabica* L. **Cerne**, v. 16, n. Suplemento, p. 15 - 22, 2010.

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.

SOUZA, M. O. A. de; SILVA, J. de C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira. **Arvore**, v. 33, p. 751 - 758, 2009.

SOUZA, M. O. A. de; SILVA, J. de C.; EVANGELISTA, W. V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake visando ao uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 403 - 409, 2011.

SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; SUBARI, K. LIANG, C. K. Effect of sanding on surface roughness of rubberwood. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 8, p. 3949 - 3955, 2009.

STEIGER, R.; GÜLZOW, A.; GSELL, D. **Non destructive evaluation of elastic material properties of cross-laminated timber (CLT)**. In: Conference COST E53, Delft. Proceedings... Delft: TUDelft, 2008.

TIENNE, D. L. D. C.; NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; SILVA, D. B. Qualidade de adesão de juntas de madeira de *Pinus coladas* em condições simuladas de serviço interna e externa. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 16 - 29, 2011.

TITEBOND. **Woodworking Glues - The most comprehensive wood glue program available**. EUA. 1 p. 2019.

TIMAR, M. C.; GURAU, L.; CIONCA, M.; POROJAN, M. Wood species for the Biedermeier furniture: a microscopic characterization for scientific conservation. **International Journal of Conservation Science**, v. 1, n. 1, p. 3-12, 2010.

TREVISAN, R.; SOUZA, J. T.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. S. Efeito do desbaste no comprimento das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, 2013.

TRIPODI, A. **Lustração da Madeira e Pinturas Especiais – Manual Prático**. São Paulo: CTT Cultura e Editora, 80p. 2004.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Structure, properties, utilization. 494p. 1991.

TULIK, M.; KLOSINSKA, T.; IQBAL, M.; GROCHOWINA, A. Figures of the wood of *Khaya ivorensis* and *Millettia laurentii*. **Wood Research**, v. 56, n. 4, p. 613-620, 2011.

USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. **Wood handbook: Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, 463 p. 1999.

VASSILIOU, V.; BARBOUTIS, I.; KARASTERGIOU, S. Effect of PVAc bonding on finger-joint strenght of steamed and unsteamed Beech Wood (*Fagus sylvatica*). **Journal os Applied Polymer Science**, v. 103, p. 1664-1669, 2007.

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.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p.1-2, 2006.

WATAI, L. T. **Tecnologia básica em acabamentos de madeiras**, 102 p. São Paulo: IPT, 1995.