

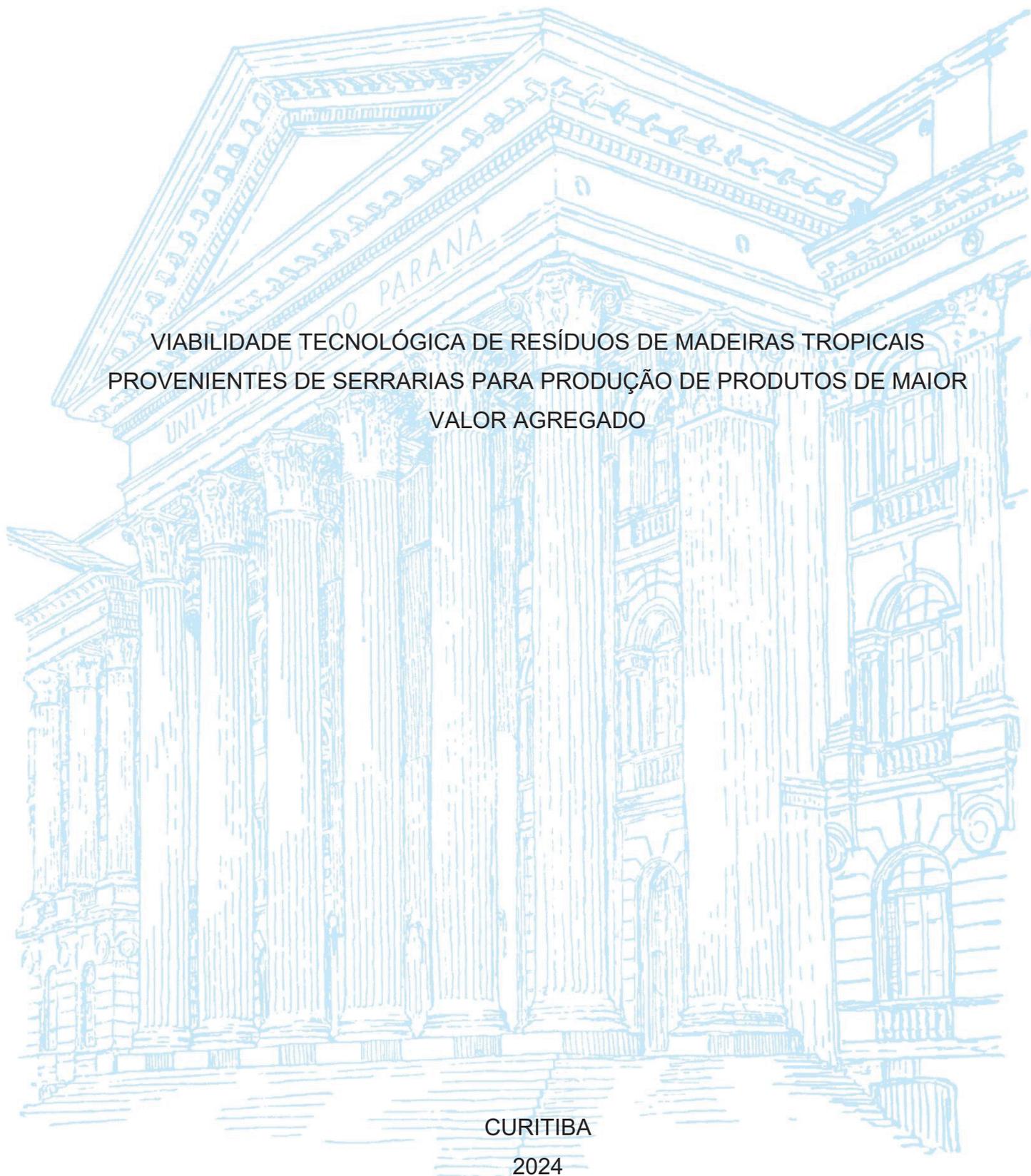
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSIANE FERNANDES KEFFER

VIABILIDADE TECNOLÓGICA DE RESÍDUOS DE MADEIRAS TROPICAIS
PROVENIENTES DE SERRARIAS PARA PRODUÇÃO DE PRODUTOS DE MAIOR
VALOR AGREGADO

CURITIBA

2024



JOSIANE FERNANDES KEFFER

VIABILIDADE TECNOLÓGICA DE RESÍDUOS DE MADEIRAS TROPICAIS
PROVENIENTES DE SERRARIAS PARA PRODUÇÃO DE PRODUTOS DE MAIOR
VALOR AGREGADO

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Rosilani Trianoski

Coorientadores: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Profa. Dra. Esoline Helena Cavalli
Zamarian

CURITIBA

2024

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Keffer, Josiane Fernandes

Viabilidade tecnológica de resíduos de madeiras tropicais provenientes de serrarias para produção de produtos de maior valor agregado / Josiane Fernandes Keffer. - Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rosilani Trianoski

Coorientadores: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Prof^ª. Dr^ª. Esoline Helena Cavalli Zamarian

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 20/03/2024. Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Compensados de madeira. 2. Resíduos de madeira. 3. Madeira – Amazônia. 4. Adesivos. 5. Serraria. I. Trianoski, Rosilani. II. Iwakiri, Setsuo. III. Zamarian, Esoline Helena Cavalli. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 674.835

CDU – 634.0.832.2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **JOSIANE FERNANDES KEFFER** intitulada: **Viabilidade tecnológica de resíduos de madeiras tropicais provenientes de serrarias para a produção de produtos de maior valor agregado**, sob orientação da Profa. Dra. ROSILANI TRIANOSKI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Março de 2024.

Assinatura Eletrônica

21/03/2024 14:37:08.0

ROSilANI TRIANOSKI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

22/03/2024 10:09:34.0

NARCISO FERNANDO BILA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE)

Assinatura Eletrônica

26/03/2024 16:48:29.0

SILVIANA ROSSO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA)

Assinatura Eletrônica

22/03/2024 09:59:38.0

PATRÍCIA APARECIDA RIGATTO CASTELO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO)

Assinatura Eletrônica

22/03/2024 18:58:57.0

ALEXANDRE BEHLING

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

DEDICO

A todas as mulheres que trilharam este caminho antes de mim, que por meio da coragem e resistência possibilitaram que outras tivessem a mesma oportunidade.

À pequena Bárbara, por me desafiar a realizar mais do que acreditava ser capaz.

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela resiliência concedida, tão necessária e requerida em tantos momentos ao longo dessa caminhada.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo aprendizado e formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível cursar o doutorado.

À minha orientadora, Professora Dra. Rosilani Trianoski, por aceitar o desafio de orientar alguém vinda de outra área de pesquisa. Sou grata por toda a disponibilidade, sempre atendendo às demandas muito rapidamente, pelos ensinamentos e oportunidades proporcionados, pelas conversas descontraídas e, principalmente, pela parceria, que foi imprescindível para que eu pudesse concluir esta tese.

Ao coorientador, Professor Dr. Setsuo Iwakiri, pelas contribuições à pesquisa por meio de conversas e correções. Igualmente agradeço à coorientadora, Professora Dra. Esoline Zamarian, e pela pronta disponibilidade em conduzir a etapa de entrevistas sobre o design de produto, que mesmo não sendo possível a inclusão neste trabalho, será publicada futuramente.

À empresa Rovermad, em nome de Marcelo e família, pela generosidade na doação do material utilizado nesta pesquisa e por todas as informações e experiências gentilmente compartilhadas. Aos “meninos” do chão de fábrica da serraria, por todo auxílio gentil e alegremente prestado durante a coleta do material.

Ao Professor Dr. Alan Sulato, por auxiliar pacientemente na realização de todas as análises químicas contempladas neste trabalho.

Ao Professor Dr. Pedro Cademartori, por se dispor a emprestar da Embrapa Floresta em seu nome o testador de adesão automático PosiTest para realização do ensaio de adesão (*Pull-Off*). Bem como pelas instruções atenciosamente fornecidas sobre o uso do equipamento e detalhes de realização dos testes.

Ao Professor Dr. Alexandre Behling, por tornar a análise multivariada menos assustadora por meio de suas explicações descontraídas e alegres. Obrigada por todo o auxílio.

Ao Rogério, inicialmente pelo incentivo em que eu ingressasse no doutorado. E mais adiante, por toda a ajuda durante a coleta do material e condução dos experimentos e, por ter proporcionado o apoio que precisei nos diversos momentos desafiadores com os quais me deparei ao longo dessa jornada. Esta tese prova que tudo valeu a pena.

Ao meu cunhado, Henrique e, meu irmão, Wesley, pela colaboração no preparo e embalagem de todo o material para o transporte.

À minha família, por tudo o que não consigo colocar em palavras. Em especial, à minha mãe, Zeuna, e meus avós, Rafael e Izaura, pelo entusiasmo e orgulho com que receberam as notícias de minha aprovação no processo seletivo para o doutorado e, principalmente, pelos encaminhamentos para o seu término. Obrigado por sempre me incentivarem a ir pouco além nos estudos. E obrigada mãe, pelas vezes em que encarou longas horas de viagem para ajudar aliviar a minha carga cuidando da pequena Bárbara.

À Edilaine, que inicialmente, à distância, ajudou-me a encontrar um lugar para morar em Curitiba e me deu todas as orientações necessárias para minha independência na cidade e na universidade. Obrigada pela amizade estabelecida desde então e parceria ao longo de todo o doutorado. Nossas conversas e desabafos foram a válvula de escape para os altos e baixos (maioria) que permearam essa jornada.

Aos colegas de laboratório, Narciso, Talitha, Giuliano, Renan, Bruna e Annah, pelo convívio, amizade e trocas de ideias.

Aos técnicos Mauro, do laboratório de usinagem da madeira, Letícia, do laboratório de painéis de madeira e Eliane, do laboratório de anatomia da madeira, por todo auxílio prestado.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

*“Dê-me, Senhor, agudeza para entender,
capacidade para reter, método e faculdade
para aprender, sutileza para interpretar,
graça e abundância para falar. Dê-me,
Senhor, acerto ao começar, direção ao
progredir e perfeição ao concluir.”*

São Tomás de Aquino

RESUMO

Considerando a necessidade de melhor aproveitamento dos resíduos madeireiros na região Amazônica para geração de produtos de maior valor agregado, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de utilização de resíduos de madeira sólida oriundos do desdobro de toras em serraria para a produção de painéis colados lateralmente. Os resíduos utilizados foram provenientes das espécies cedro-rosa (*Cedrela odorata*), orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii*), cedrinho (*Erisma uncinatum*) e cambará (*Qualea paraensis*). Foram determinadas as principais propriedades físicas e químicas das madeiras de cerne e albúrnio das espécies avaliadas a partir de amostras retiradas de discos obtidos na porção basal, sendo três árvores por espécie. Para avaliar a qualidade de colagem foram realizadas colagens de topo (*finger joint*) (adesivo PVA 180 g.m⁻²) e colagens laterais (adesivos PVA e EPI gramaturas 140 g.m⁻² e 180 g.m⁻²), para cada espécie individualmente e em configurações híbridas, e posteriormente avaliadas por meio de ensaios de flexão, tração e cisalhamento. O desempenho do acabamento superficial com os vernizes base água e copal também foi avaliado para todas as espécies. As espécies apresentaram densidades classificadas como de média a alta, o teor de extrativos, de cinzas e o pH apresentaram-se de acordo com a faixa de variação para madeiras tropicais, e compatíveis com processos de colagem de madeiras. De maneira geral, as configurações de colagem (espécies individuais e configurações híbridas) atenderam aos requisitos normativos, tanto para a colagem de topo quanto para lateral (adesivo EPI 180 g.m⁻²), apresentando valores de resistências ligeiramente superiores aos observados pelas espécies tradicionalmente utilizadas para produção de painéis EGP. A análise multivariada mostrou que a densidade é a variável mais importante no agrupamento de espécies com características semelhantes para a colagem de madeiras. As superfícies das madeiras acabadas apresentaram desempenhos satisfatórios nos ensaios de abrasão, adesão, brilho e impacto e as cores das madeiras variaram com a aplicação dos vernizes. Sendo assim, os resíduos de madeira sólida oriundos do desdobro de madeiras Amazônicas apresentam potencial para a produção de produtos de maior valor agregado, como os painéis EGP.

Palavras-chave: Madeira amazônica. Serrarias. Produtos de maior valor agregado. Painel colado lateralmente (EGP). Valorização de matéria-prima.

ABSTRACT

In light of the need to better utilize timber residues in the Amazon region to generate higher value-added products, this study aimed to assess the potential use of solid wood residues from logs processing in sawmills to produce edge-glued panels (EGP). The residues used were from the species cedro-rosa (*Cedrela odorata*), orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii*), cedrinho (*Erisma uncinatum*), and cambará (*Qualea paraensis*). The main physical and chemical properties of heartwood and sapwood from the evaluated species were determined from samples from disks obtained at the basal portion, with three trees per species. To assess the bonding quality were performed for each species individually and in hybrid configurations, followed by flexural, tensile, and shear tests for both finger joint (PVA adhesive 180 g/m²) and edge gluing (PVA and EPI adhesives with weights of 140 g/m² and 180 g/m²). The surface finish performance with water-based and copal varnishes was also assessed for all species. The species showed densities classified as medium to high, extractive content, ash content, and pH were within the range of variation for tropical woods and compatible with wood bonding processes. Overall, the bonding configurations (individual species and hybrid configurations) met the normative requirements for finger joint and edge gluing (EPI adhesive 180 g/m²), with slightly higher resistance values than those observed for species traditionally used for EGP panel production. Multivariate analysis showed that density is the most important variable in clustering species with similar characteristics for wood bonding. The finished wood surfaces showed satisfactory performance in abrasion, adhesion, gloss, and impact tests, and the wood colors varied with varnish application. Therefore, solid wood residues from Amazonian timber breakdown have the potential for the production of higher value-added products, such as EGP panels.

Keywords: Amazon timber. Sawmills. Higher-value-added products. Edge-glued panels (EGP). Raw material valorization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA EM SERRARIA NO MUNICÍPIO DE ALTA FLORESTA D'OESTE-RO, BRASIL. MONTAGEM E PREPARO DE FARDO DE LENHA (A), FARDO DE LENHA PRONTO (B), FARDOS DE LENHA DISPOSTOS NA ÁREA EXTERNA DA SERRARIA.....	21
FIGURA 1.2 – <i>FINGER JOINT</i> HORIZONTAL E VERTICAL (A), DIMENSÕES DE EXEMPLO PARA <i>FINGER JOINT</i> PADRÃO DE TESTE E CORPOS DE PROVA PARA OS TESTES DE FLEXÃO (C) E TRAÇÃO (D)	26
FIGURA 1.3 – EXEMPLO DE PLANO DE CORTE (A) E PEÇAS DE TESTE PARA PAINÉIS DE MADEIRA MACIÇA (B) DE CAMADA ÚNICA (EGP)....	27
FIGURA 1.4 – LOCALIZAÇÃO DA SERRARIA ONDE FOI COLETADO OS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA DE ESPÉCIES TROPICAIS.....	30
FIGURA 1.5 – RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA (A, B, C, D) E DISCOS (E) COLETADOS.....	31
FIGURA 1.6 – DESDOBRO (A), REDUÇÃO DE DIMENSÕES DE RESÍDUOS (B) E AMOSTRAS ÚNICAS DE RESÍDUOS DAS ESPÉCIES <i>C. odorata</i> (C) E <i>E. uncinatum</i> (D).....	32
FIGURA 1.7 – APLICAÇÃO DE INSETICIDA	33
FIGURA 1.8 – PRÉ-PROCESSAMENTO (A, B, C) E PRÉ-SECAGEM/ARMAZENAMENTO (D) DOS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA.....	34
FIGURA 1.9 – PREPARO E EMBALAGEM DO MATERIAL PARA O TRANSPORTE (A, B, C) E MATERIAL NO LABORATÓRIO DE PAINÉIS DE MADEIRA DA UFPR (D)	35
FIGURA 2.1 – SEÇÃO TRANSVERSAL DOS DISCOS DAS ESPÉCIES SELECIONADAS PARA O ESTUDO. ESCALA (TRAÇOS) = 5 CM..	39
FIGURA 2.2 – CORPOS DE PROVA EXTRAÍDOS DA FAIXA CENTRAL DE A) <i>Q. paraensis</i> E B) PONTOS DE MEDIÇÃO NO CORPO DE PROVA....	40
FIGURA 2.3 – ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	41

FIGURA 2.4 – ESPECTROS MÉDIOS NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	53
FIGURA 3.1 – PROCESSAMENTO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA EM SARRAFOS	58
FIGURA 3.2 – RESUMO ESQUEMÁTICO DA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	59
FIGURA 3.3 – PROCESSO DE PREPARO DOS SARRAFOS E COLAGEM	61
FIGURA 3.4 – CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS DE ACORDO COM AS NORMAS ASTM D 5572 (COLAGEM DE TOPO) E EN 13354 (COLAGEM LATERAL).....	63
FIGURA 3.5 – ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (A), TRAÇÃO PARALELA (B) E CISALHAMENTO (C).....	64
FIGURA 3.6 - <i>BOXPLOTS</i> PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i> . (A) DENSIDADE BÁSICA. (B) DENSIDADE APARENTE A 12% DE UMIDADE. (C) ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO	66
FIGURA 4.1 – CONVERSÃO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA EM SARRAFOS	81
FIGURA 4.2 – PROCESSO DE PREPARO E COLAGEM DOS SARRAFOS	82
FIGURA 4.3 – ESQUEMA DE CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DAS NORMAS EN 13354 (COLAGEM LATERAL) E ASTM D 5572 (COLAGEM DE TOPO)	84
FIGURA 5.1 - GRÁFICO DISCRIMINANTE DAS COMBINAÇÕES DE ESPÉCIES PARA A COLAGEM DE TOPO. A-C) PRÉ-TRATAMENTOS SECO, ALTA TEMPERATURA E CICLO TRIPLO DO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA; D-F) PRÉ-TRATAMENTOS SECO, ALTA TEMPERATURA E CICLO TRIPLO DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARALELA	108
FIGURA 5.2 - GRÁFICO DISCRIMINANTE DAS COMBINAÇÕES DE ESPÉCIES PARA A COLAGEM LATERAL. A) PRÉ-TRATAMENTO SECO; B) PRÉ-TRATAMENTO 24H ÁGUA FRIA (ÚMIDO)	109

FIGURA 6.1 – AMOSTRAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS DE BRILHO, IMPACTO, ADESÃO, COLORIMETRIA (A) E ABRASÃO (B) E VERNIZES BASE ÁGUA (C) E COPAL (D).....	115
FIGURA 6.2 – LIXAMENTO (A, B), APLICAÇÃO DO VERNIZ (C) E MEDIDOR DE ESPESSURA UTILIZADO (D).....	116
FIGURA 6.3 – DETERMINAÇÃO DE BRILHO COM GLOSSMETER	117
FIGURA 6.4 – DANO CAUSADO NA AMOSTRA APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE IMPACTO.....	118
FIGURA 6.5 – ENSAIO DE ABRASÃO EM ABRASÍMETRO (A), PESAGEM DAS AMOSTRAS (B) E DESTAQUE DA ÁREA DE DESGASTE DE AMOSTRAS APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO (C)	119
FIGURA 6.6 – ENSAIO DE ADESÃO COM TESTADOR DE ADESÃO AUTOMÁTICO POSITEST AT-A <i>PULL-OFF</i> (DEFELSKO, USA) (A), PINOS METÁLICOS FIXADOS NA AMOSTRA COM RESINA EPÓXI (B) E ISOAMENTO DA SUPERFÍCIE DE TESTE COM FERRAMENTA DE CORTE (C, D).....	121
FIGURA 6.7 – TIPOS DE FALHA DE ADESÃO	121
FIGURA 6.8 – MENSURAÇÃO DAS CORES DAS AMOSTRAS COM ESPECTROFOTÔMETRO KONICA MINOLTA CM-5.....	123
FIGURA 6.9 - APARÊNCIA DA SUPERFÍCIE ENVERNIZADA DE <i>C. odorata</i> COM OS VERNIZES BASE ÁGUA (A) E COPAL (B) APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE ABRASÃO	129
FIGURA 6.10 – APARÊNCIA DA SUPERFÍCIE ENVERNIZADA DE <i>E. schomburgkii</i> COM OS VERNIZES BASE ÁGUA (A) E COPAL (B) APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE ADESÃO	131
FIGURA 6.11 – MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i> <i>IN NATURA</i> E COM APLICAÇÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL	136
FIGURA 6.12 – CURVAS DE REFLECTÂNCIA DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i> <i>IN NATURA</i> E COM APLICAÇÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL	137

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 - CLASSIFICAÇÃO* DAS CORES DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	52
QUADRO 6.1 - CLASSIFICAÇÃO DO BRILHO DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535 (ABNT, 2008)	117
QUADRO 6.2 - ESCALA DE GRADUAÇÃO DA ÁREA ENSAIADA DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535 (ABNT, 2008).	119
QUADRO 6.3 - DESCRIÇÃO DA NATUREZA DA FALHA DE ADESÃO	122
QUADRO 6.4 - CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DE COR (ΔE^*)	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 – VOLUME DE MATÉRIA-PRIMA OBTIDO APÓS O PRÉ-PROCESSAMENTO DAS ESPÉCIES <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> e <i>Q. paraensis</i>	34
TABELA 2.1 – INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE AS ESPÉCIES DE MADEIRAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO	39
TABELA 2.2 – DENSIDADES BÁSICA E APARENTE DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i> E POR TIPO DE LENHO	43
TABELA 2.3 – RETRATIBILIDADE DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	45
TABELA 2.4 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	46
TABELA 2.5 – VARIÁVEIS CROMÁTICAS DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	49
TABELA 3.1 - TRATAMENTO (ESPÉCIES) UTILIZADO NA COLAGEM DE TOPO	62
TABELA 3.2 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL (ESPÉCIES, ADESIVO E GRAMATURA) UTILIZADO NA COLAGEM LATERAL	62
TABELA 3.3 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	67
TABELA 3.4 - RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E TRAÇÃO PARALELA DAS EMENDAS DE TOPO, COLADAS COM ADESIVO PVA NA GRAMATURA DE 180 g.m ⁻² , PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	69
TABELA 3.5 - MÉDIAS GERAIS DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO (RLC) PARA <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	72
TABELA 3.6 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO (RLC) NOS DOIS PRÉ-	

TRATAMENTOS AVALIADOS, MOSTRANDO SUA SIGNIFICÂNCIA E O QUADRADO MÉDIO (QM) DE CADA FONTE DE VARIAÇÃO	73
TABELA 3.7 - DESDOBRAMENTO DE ESPÉCIE DENTRO DE CADA NÍVEL DE ADESIVO PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO.....	74
TABELA 3.8 - DESDOBRAMENTO DE ADESIVO DENTRO DE CADA NÍVEL DE ESPÉCIE PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO	75
TABELA 4.1 - PLANO EXPERIMENTAL DAS COLAGENS DE TOPO E LATERAL	82
TABELA 4.2 - DENSIDADE APARENTE A 12% DE UMIDADE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> , <i>Q. paraensis</i> E SUAS COMBINAÇÕES ESTUDADAS.....	85
TABELA 4.3 - RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E TRAÇÃO PARALELA DAS EMENDAS DE TOPO, COLADAS COM ADESIVO PVA COM GRAMATURA DE 180 g.m ⁻² , PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i> INDIVIDUALMENTE E EM CONFIGURAÇÕES HÍBRIDAS	87
TABELA 4.4 - RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO (RLC) DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i> COLADAS INDIVIDUALMENTE E EM CONFIGURAÇÕES HÍBRIDAS COM O ADESIVO EPI NA GRAMATURA DE 180 g.cm ⁻²	90
TABELA 5.1 - PRÉ-TRATAMENTOS APLICADOS AOS CORPOS DE PROVAS ANTES DOS ENSAIOS MECÂNICOS	98
TABELA 5.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA MULTIVARIADA PARA O CONJUNTO COMPOSTO POR TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS POR PRÉ-TRATAMENTO PARA A COLAGEM DE TOPO.....	100
TABELA 5.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA MULTIVARIADA PARA O CONJUNTO COMPOSTO POR TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS POR PRÉ-TRATAMENTO PARA A COLAGEM LATERAL	101
TABELA 5.4 - PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PELAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS, RELATIVAS AOS AUTOVALORES E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO CANÔNICA PARA CADA UMA DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES.....	102

TABELA 5.5 - CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS ORIGINAIS AVALIADAS E AS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS POR PRÉ-TRATAMENTO PARA CADA ENSAIO	102
TABELA 5.6 - DENSIDADE APARENTE A 12% DE UMIDADE E RESISTÊNCIAS MÉDIAS PARA AS COLAGENS DE TOPO E LATERAL	104
TABELA 5.7 - CENTROIDES DE CADA COMBINAÇÃO DE ESPÉCIES EM CADA PRÉ-TRATAMENTO PARA A COLAGEM DE TOPO E LATERAL .	106
TABELA 6.1 - PROPRIEDADES DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL DE ACORDO COM DADOS FORNECIDOS PELOS FABRICANTES ..	115
TABELA 6.2 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O BRILHO.....	125
TABELA 6.3 – VALORES MÉDIOS DE BRILHO DAS MADEIRAS DAS ESPÉCIES <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	125
TABELA 6.4 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA AO IMPACTO.....	127
TABELA 6.5 – RESISTÊNCIA AO IMPACTO PARA OS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL.....	127
TABELA 6.6 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA À ABRASÃO.....	128
TABELA 6.7 – RESISTÊNCIA À ABRASÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL APLICADOS NAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	128
TABELA 6.8 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O ENSAIO DE ADESÃO	130
TABELA 6.9 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E NATUREZA DA FALHA DE ADESÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL APLICADOS NAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	131
TABELA 6.10 – VARIÁVEIS CROMÁTICAS DA SUPERFÍCIE ACABADA DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i>	133
TABELA 6.11 – VARIAÇÃO DE COR DAS MADEIRAS DE <i>C. odorata</i> , <i>E. schomburgkii</i> , <i>E. uncinatum</i> E <i>Q. paraensis</i> IN NATURA E COM APLICAÇÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL	135

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABIMCI	- Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ac	- Anisotropia de contração
ANOVA	- Análise de Variância
ASTM	- American Society for Testing & Materials
C*	- Saturação de cor
CIE $L^*a^*b^*$	- Sistema de espaço de cores. L^* (luminosidade), a^* (coordenada cromática vermelho-verde) e b^* (coordenada cromática azul-amarelo)
cm	- Centímetro
CO ₂	- Dióxido de carbono
D _{ap}	- Densidade aparente a 12% de umidade
D _b	- Densidade básica
EGP	- Edge Glued Panel
EN	- European Committee for Standardization
EPI	- Emulsão Polimérica de Isocianato
FD	- Função Discriminante
FM	- Falha na Madeira em %
g	- Grama
g.cm ⁻³	- Grama por centímetro cúbico
g.m ⁻²	- Grama por metro quadrado
GL	- Grau de liberdade
h	- Ângulo de tinta em graus
ISO	- International Organization for Standardization
m	- Metro
MANOVA	- Análise de Variância Multivariada
MDF	- Medium Density Fiberboard
MDP	- Medium Density Particleboard
μm	- Micrômetro
mg	- Miligrama
mm	- Milímetro
MPa	- Megapascal

MPa.s ⁻¹	- Megapascal por segundo
NBR	- Norma Técnica Brasileira
nm	- Nanômetro
ODS	- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OSB	- Oriented Strand Board
pH	- Potencial hidrogeniônico
PI	- Percentil Inferior
PMVA	- Produto de Maior Valor Agregado
PVA	- Poliacetato de Vinila
RLC	- Resistência da Linha de Cola ao Cisalhamento
rpm	- Rotações por minuto
RT	- Resistência a Tração
SFB	- Serviço Florestal Brasileiro
TAPPI	- Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TD	- Taxa de Desgaste
ub	- Unidade de brilho
β_l	- Contração Longitudinal
β_r	- Contração Radial
β_t	- Contração Tangencial
β_v	- Contração Volumétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

%	- percentual
<	- menor
>	- maior
≤	- menor ou igual
°	- grau
°C	- grau celsius
Δa^*	- variação da coordenada cromáticas a^*
Δb^*	- variação da coordenada cromáticas b^*
ΔE^*	- variação total de cor
ΔL^*	- variação da luminosidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	16
ASPECTOS GERAIS.....	16
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	19
1.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
1.4.1 Resíduos de madeira sólida do processamento primário na Amazônia	20
1.4.2 Produtos de maior valor agregado.....	22
1.4.3 Principais fatores que influenciam na qualidade de colagem de painéis colados lateralmente (EGP) e como determiná-la	23
1.4.3.1 Propriedades da madeira	23
1.4.3.2 Adesivos e processo de colagem	24
1.4.3.3 Determinação da qualidade de colagem em painéis EGP	25
1.4.4 Acabamento superficial por revestimentos	27
1.5 METODOLOGIA GERAL.....	29
1.5.1 Coleta da matéria-prima	29
1.5.2 Pré-beneficiamento dos resíduos de madeira sólida e transporte do material	33
CAPÍTULO 2.....	36
PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CERNE E ALBURNO EM RESÍDUOS DO DESDOBRO DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS EGP	36
2.1 INTRODUÇÃO	37
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	38
2.2.1 Determinação das propriedades físicas.....	39
2.2.2 Determinação das propriedades químicas.....	40
2.2.3 Caracterização colorimétrica	41
2.2.4 Análise estatística.....	42
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43

2.3.1	Propriedades físicas	43
2.3.2	Propriedades químicas	46
2.3.3	Colorimetria	49
2.4	CONCLUSÕES	54

CAPÍTULO 3..... 55

USO DE RESÍDUOS DO DESDOBRO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS PARA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE (EGP)..... 55

3.1	INTRODUÇÃO	56
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	57
3.2.1	Procedência e coleta do material.....	57
3.2.2	Caracterização físico-química.....	59
3.2.3	Preparo dos sarrafos e processo de colagem.....	59
3.2.4	Avaliação da qualidade das colagens.....	62
3.2.5	Análise estatística.....	64
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
3.3.1	Propriedades físicas e químicas	65
3.3.2	Resistência das emendas de topo (<i>finger joints</i>)	68
3.3.3	Resistência ao cisalhamento das juntas coladas lateralmente	71
3.4	CONCLUSÕES	77

CAPÍTULO 4..... 78

POTENCIAL DE USO DE RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA TROPICAL DA AMAZÔNIA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE COLAGEM LATERAL HÍBRIDOS

..... 78

4.1	INTRODUÇÃO	79
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	80
4.2.1	Caracterização do material.....	80
4.2.2	Fabricação das emendas de topo e das juntas coladas lateralmente	81
4.2.3	Qualidade das colagens	83
4.2.4	Análise estatística.....	85
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
4.3.1	Densidade aparente (12%).....	85
4.3.2	Resistência das emendas de topo.....	86

4.3.3	Resistência das juntas coladas lateralmente	89
4.4	CONCLUSÕES	92

CAPÍTULO 5..... 94

ANÁLISE MULTIVARIADA PARA AGRUPAMENTO DE ESPÉCIES COM CARACTERÍSTICAS SEMELHANTES PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS EGP.. 94

5.1	INTRODUÇÃO	95
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	97
5.2.1	Material	97
5.2.2	Preparo dos sarrafos	97
5.2.3	Manufatura das juntas coladas lateralmente e emendas <i>finger joint</i>	97
5.2.4	Avaliação da qualidade das colagens	98
5.2.5	Análise estatística.....	99
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
5.3.1	Análise de variância multivariada	100
5.3.2	Análise discriminante.....	101
5.4	CONCLUSÕES	110

CAPÍTULO 6..... 112

ACABAMENTO SUPERFICIAL DE MADEIRAS AMAZÔNICAS REAPROVEITADAS DE RESÍDUOS DE SERRARIA VISANDO A APLICAÇÃO EM PRODUTOS DE MAIOR VALOR AGREGADO..... 112

6.1	INTRODUÇÃO	113
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	114
6.2.1	Material	114
6.2.2	Preparo das amostras e aplicação dos vernizes.....	116
6.2.3	Avaliação do acabamento superficial.....	117
6.2.3.1	Determinação do brilho.....	117
6.2.3.2	Resistência ao impacto.....	118
6.2.3.3	Resistência à abrasão	119
6.2.3.4	Adesão	120
6.2.3.5	Caracterização colorimétrica	122
6.2.4	Análise estatística.....	124
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	125

6.3.1	Brilho	125
6.3.2	Resistência ao impacto.....	126
6.3.3	Resistência à abrasão	128
6.3.4	Adesão	129
6.3.5	Colorimetria	133
6.4	CONCLUSÕES	137
	CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES	139
	REFERÊNCIAS GERAIS	141

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui atualmente uma área ocupada por florestas estimada em 495 milhões de hectares, sendo pouco mais de 485 milhões de hectares de florestas nativas e aproximadamente 9,5 milhões de hectares de florestas plantadas (ABIMCI, 2022). As quais, segundo a associação, representam 58% da área total do país e 12% da cobertura florestal mundial, sendo o detentor do 2º lugar no ranking mundial em área florestal. Quanto à área de florestas naturais estimada por bioma, a Amazônia se destaca, representando aproximadamente 68% da cobertura florestal nacional (SFB, 2019).

Aliado a isso, a Floresta Amazônica é caracterizada por apresentar uma grande diversidade de espécies vegetais arbóreas, sendo a maioria com alto potencial madeireiro. Assim, a exploração de florestas nativas para atividade madeireira é estratégica para o desenvolvimento econômico da Amazônia (VALDIONES *et al.*, 2022). Em contrapartida, a exploração de madeiras nativas está condicionada à sua racionalização, sendo obrigatória a adoção de práticas sustentáveis de manejo florestal, que visam assegurar a manutenção das florestas naturais (ABIMCI, 2019).

Apesar disso, a Amazônia também se configura como grande geradora de resíduos provenientes do processo de desdobro primário (MELO *et al.*, 2012; VIEZZER, 2022), apresentando atualmente taxas de conversão da madeira em tora para produtos ainda entre 35-40% (VALDIONES *et al.*, 2022). Isso se deve ao fato de a indústria madeireira na região operar, principalmente, para a geração de produtos de baixo valor agregado (peças brutas), gerando grandes desperdícios (LENTINI *et al.*, 2003; LENTINI *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2010; VALDIONES *et al.*, 2022; VIEZZER, 2022).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA nº 474/2016 (BRASIL, 2016), distingue os resíduos da indústria madeireira em “para fins energéticos” e “para fins de aproveitamento industrial”, sendo esses últimos compostos por aparas, costaneiras e outras peças de madeira resultantes do desdobro de toras, que podem ser aproveitados em peças de madeira. Porém, na

prática, esses resíduos geralmente não são aproveitados para essa finalidade, sendo predominantemente comercializados como lenha na região amazônica com baixo valor agregado, ou desperdiçados (MELO *et al.*, 2012; VALDIONES *et al.*, 2022), sendo, portanto, subutilizados.

A crescente necessidade de produtos renováveis e de baixa emissão de carbono, e conseqüentemente, da utilização ótima dos recursos lignocelulósicos disponíveis, tem aumentado a demanda por materiais à base de madeira (BLANCHET; BRETON, 2020; IEJAVS *et al.*, 2022). Nesse contexto, a redução da disponibilidade e da qualidade dos recursos madeireiros reforçam a importância da colagem de madeiras (IEJAVS *et al.*, 2022) e a necessidade do estabelecimento de iniciativas focadas na agregação de valor aos resíduos gerados pela indústria madeireira na região amazônica (VALDIONES *et al.*, 2022).

Dentre os produtos de maior valor agregado (PMVA) que podem ser gerados a partir da colagem de madeiras têm-se os painéis reconstituídos (aglomerados, chapas de fibras, compensados, entre outros), pisos de madeira, molduras, portas e janelas, componentes estruturais e o painel colado lateralmente, ou *Edge Glued Panel* (EGP), que dentre outras características, oportuniza o reaproveitamento de resíduos do processamento de serrarias (costaneiras e peças não conformes) no seu processo produtivo (PEREIRA, 2003; TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020). O painel EGP é um dos principais PMVA, pois serve como base para a fabricação de diversos outros produtos, e a maior parte de sua produção é consumida pela indústria moveleira nacional (PEREIRA, 2003).

Os painéis EGP vêm conquistando espaço no mercado pelo fato de contribuírem para uma destinação ambientalmente sustentável dos resíduos de madeira sólida, além de gerar um produto final de alto valor agregado (MARTINS, 2011; ALMEIDA, 2015; SWTS, 2016). As suas principais vantagens são: melhoria das taxas de conversão da madeira em tora para produtos, custos de maquinários baixos e solução produtiva mais simples em comparação com outras indústrias de painéis de madeira reconstituída (MDF, MDP e OSB, por exemplo) e o aspecto estético e decorativo proporcionado pelo uso de peças curtas e estreitas de madeira sólida.

O uso de peças de madeira não conformes, restantes de outros processos industriais, para a fabricação de painéis EGP não é novidade, mas o uso de resíduos do desdobro de espécies amazônicas, especificamente aparas, costaneiras e outras peças, ainda é inexplorado. Os estudos realizados até o momento acerca da

qualidade de colagem em painéis EGP concentraram-se em investigar a adequação da madeira de espécies alternativas às tradicionalmente utilizadas, a variação e combinações de parâmetros de processo, a determinação de parâmetros ótimos de colagem para espécies específicas e utilização de peças não conformes de madeiras já classificadas restantes de outros processos industriais (LOPES *et al.*, 2013; BILA *et al.*, 2016; ROJAS *et al.*, 2020; TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020; BILA *et al.*, 2021; IWAKIRI *et al.*, 2021; IEJAVS *et al.*, 2022). Contudo, o aproveitamento dos resíduos da indústria madeireira amazônica visando uma utilização mais eficiente e racional e a agregação de valor a esse recurso ainda permanece um desafio. Além disso, Valdiones *et al.* (2022) alertam que são escassas as iniciativas focadas na geração de produtos de alto valor agregado, como painéis de madeira por exemplo, usando esta matéria-prima tropical.

Assim, o painel EGP pode representar uma alternativa para otimização do uso de resíduos de madeira sólida, bem como proporcionar uma nova oportunidade de valorização de um recurso madeireiro subutilizado, para um produto de maior valor agregado, além de contribuir para uma economia de baixo carbono no setor madeireiro na região amazônica. Neste sentido, a geração de um produto engenheirado como esse requer o conhecimento de uma série de fatores que são determinantes para a qualidade do produto final, como as propriedades (físicas e químicas) da matéria-prima utilizada, o seu comportamento em termos de resistência quando submetido à colagem e exposto a diferentes condições de serviço e o aspecto de sua superfície acabada. Tais informações podem ser obtidas por meio da realização de testes com a matéria-prima de interesse, seguindo procedimentos normatizados reconhecidos nacional e internacionalmente (normas técnicas), que determinam então o potencial de uso do material para a produção de painéis EGP.

Diante do exposto, esta pesquisa visou contribuir para uma maior valorização da matéria-prima subutilizada e para o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, como os painéis EGP, a partir de resíduos de madeira sólida provenientes do desdobro de espécies amazônicas. Adicionalmente, pode colaborar para iniciativas de novos modelos de desenvolvimento econômico sustentável para a Amazônia, mostrando para as indústrias regionais as múltiplas potencialidades das matérias-primas disponíveis na região.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade tecnológica da utilização de resíduos de madeira sólida, provenientes do processo de desdobro de madeiras amazônicas em serrarias, para a produção de painéis colados lateralmente (*Edge glued panel* - EGP).

1.2.2 Objetivos específicos

1) Determinar as propriedades físicas (densidade, retratibilidade e cor) e químicas (extrativos, pH e cinzas) dos lenhos de cerne e alburno oriundos desses resíduos.

2) Investigar o potencial desses resíduos para a produção de painéis EGP convencionais e híbridos.

3) Aplicar análise multivariada para agrupar as espécies que compõem esses resíduos pelas similaridades das suas propriedades.

4) Avaliar o desempenho do acabamento superficial das madeiras provenientes desses resíduos revestidas com dois vernizes comerciais.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Com a finalidade de atender aos objetivos desta pesquisa, a tese foi organizada em capítulos, conforme as especificações a seguir:

Capítulo 1: apresenta a introdução geral, os objetivos geral e específicos, a organização da tese, a fundamentação teórica da pesquisa e a metodologia geral utilizada.

Capítulo 2: representa o artigo 1, intitulado “Propriedades da madeira de cerne e alburno de resíduos do desdobro de espécies amazônicas visando a produção de painéis EGP”, que caracteriza as principais propriedades físicas e químicas dos lenhos de cerne e alburno de quatro espécies amazônicas para aplicações de maior valor agregado.

Capítulo 3: representa o artigo 2, intitulado “Uso de resíduos do desdobro de madeiras amazônicas para fabricação de painéis colados lateralmente (EGP)”, que

investiga a adequação de resíduos do desdobro de toras de quatro espécies de madeiras tropicais para a produção de painéis EGP convencionais.

Capítulo 4: representa o artigo 3, intitulado “Potencial de uso de resíduos de madeira sólida tropical da Amazônia para produção de painéis de colagem lateral híbridos”, que avalia a qualidade de colagem de emendas de topo e juntas coladas lateralmente em uniões individuais e em misturas de espécies (híbridas).

Capítulo 5: representa o artigo 4, intitulado “Análise multivariada para agrupamento de espécies com características semelhantes para a produção de painéis EGP”, que utiliza análise multivariada para avaliar a resistência e densidade de painéis EGP convencionais e híbridos visando agrupar espécies com características semelhantes.

Capítulo 6: representa o artigo 5, intitulado “Acabamento superficial de madeiras amazônicas reaproveitadas de resíduos de serraria visando a aplicação em produtos de maior valor agregado”, que avalia a qualidade do acabamento superficial destas madeiras utilizando dois revestimentos comerciais.

1.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.4.1 Resíduos de madeira sólida do processamento primário na Amazônia

O parque industrial madeireiro na região amazônica é em sua maioria obsoleto, o que implica em baixas taxas de conversão da madeira em tora para produtos (entre 30%-40%) (VALDIONES *et al.*, 2022). A industrialização da madeira na Amazônia é realizada principalmente pelo processamento primário e secundário, por meio de serras de fita e serras circulares (NASCIMENTO; DUTRA; NUMAZAWA, 2006; RAMOS *et al.*, 2018) em serrarias. O rendimento em madeira serrada previsto pela legislação brasileira (BRASIL, 2016) é de 35%, o que indica que 65% do volume total de madeira é considerado como resíduo.

As serrarias, principais empreendimentos de processamento de madeira na Amazônia, são geradoras de uma grande quantidade e diversidade de resíduos (VALDIONES *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2024), o que é característico do processamento mecânico da madeira (NOLASCO; ULIANA, 2014). Os resíduos mais comumente encontrados nessas indústrias são lenha, serragem, maravalha e cavaco

(SOTELI *et al.*, 2024), sendo que a lenha é o tipo de resíduo com maior percentual de ocorrência no processamento de espécies amazônicas (MELO *et al.*, 2019).

O resíduo popularmente definido como lenha é composto por aparas, costaneiras, sobras do processo de desdobro e outras peças de madeira resultantes do beneficiamento da indústria (FIGURA 1.1) e, é classificado pela legislação brasileira (BRASIL, 2016) como “resíduo para fins de aproveitamento industrial ou para fins energéticos”. Apesar de a lenha ser o resíduo de maior demanda e facilidade de destinação comercial (SOTELI *et al.*, 2024), o seu aproveitamento na região amazônica é caracterizado por ser predominantemente para a geração de energia. Porém, essa prática despreza o potencial que esse material tem para a geração de novos produtos de maior valor agregado (PMVA) por meio da colagem de madeiras (MARQUES; NASCIMENTO; ARAÚJO, 2020; VALDIONES *et al.*, 2022).

FIGURA 1.1 – RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA EM SERRARIA NO MUNICÍPIO DE ALTA FLORESTA D'OESTE-RO, BRASIL. MONTAGEM E PREPARO DE FARDO DE LENHA (A), FARDO DE LENHA PRONTO (B), FARDOS DE LENHA DISPOSTOS NA ÁREA EXTERNA DA SERRARIA



FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Retângulos com linha tracejada destacam os fardos de lenha dispostos lado a lado.

A aceitabilidade do modelo tradicional da cadeia de abastecimento linear “retirar-fazer-usar-descartar” está diminuindo graças, em parte, a iniciativas como a Agenda 30, que contempla dentre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) a meta (12.5) de reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio de

prevenção, redução, reciclagem e reutilização (VASS *et al.*, 2024). Assim, a literatura emergente tem se dedicado a investigar alternativas para a agregação de valor aos subprodutos gerados a partir dos resíduos de madeira na região amazônica (MARQUES; NASCIMENTO; ARAÚJO, 2020; AGUIAR *et al.*, 2024; FERREIRA *et al.*, 2024) e a propor soluções em PMVA em substituição a lenha visando a geração de oportunidades de aumentar receitas de forma sustentável (LEITE *et al.*, 2020; NOGUEIRA; CASTRO, 2021).

1.4.2 Produtos de maior valor agregado

O processo de agregar valor ao produto serrado no Brasil iniciou a partir do final dos anos 80, visando atender principalmente o mercado externo e o segmento moveleiro nacional (CARVALHO; SOARES; VALVERDE, 2005; FUMAGALLI; CORSO; SILVA, 2009). Segundo os autores, os principais Produtos de Maior Valor Agregado (PMVA) produzidos no Brasil são os *blocks*, *blanks*, molduras, pisos de madeira maciça, *decks*, janelas entre outros, os quais são destinados ao mercado externo e; pré-cortados, componentes estruturais, *Edge Glued Panels* (EGP) ou painéis colados lateralmente entre outros, que são destinados ao setor moveleiro nacional.

As madeiras utilizadas na fabricação de PMVA são principalmente de pinus, eucalipto, teca e de algumas espécies nativas, como o paricá (ABIMCI, 2022). Adicionalmente, resíduos de madeira têm sido utilizados para geração de PMVA com resultados promissores (LEITE *et al.*, 2020). Práticas de agregação de valor como essa têm colaborado para a difusão do modelo de economia circular, que foi proposto como um caminho para melhorar o desempenho por meio da redução da geração de resíduos e da otimização do uso dos recursos naturais (KOUHIZADEH; ZHU; SARKIS, 2024; LUO *et al.*, 2024).

No setor madeireiro a economia circular prevê a utilização e reutilização dos recursos renováveis e a transformação de resíduos em PMVA (PAROBEEK *et al.*, 2024). Um desses PMVA que tem potencial para ser produzido a partir de resíduos de madeira sólida é o painel EGP, fabricado a partir da colagem lateral de sarrafos, unidos ou não pelo topo através de emendas (IWAKIRI, 2005; LOPES, 2008). Painéis deste tipo são produzidos a partir de madeiras de baixa a média massa específica, utilizando principalmente madeira de *Pinus* spp. (ABIMCI, 2019), que pode ser

proveniente de árvores de menores diâmetros (NAHUZ, 2004), e os adesivos mais adequados para sua colagem são o poliacetato de vinila (PVA) e a emulsão polimérica de isocianato (EPI) (ALMEIDA, 2013).

Os painéis EGP são comumente utilizados na confecção de portas e janelas de uso interno, de mobílias ou uso decorativo (LOPES, 2008). Contudo, são escassas as informações a respeito dos aspectos econômicos e mercadológicos deste produto, além das poucas informações existentes não serem recentes (FONTE; TRIANOSKI, 2015), pois no Brasil este produto ainda não é muito comum, sendo que na Ásia, Europa e Estados Unidos ele é mais difundido (FONTE, 2016).

Esses painéis não somente agregam valor ao produto, como também podem aumentar o rendimento da indústria, através do reaproveitamento de peças de madeira curtas e estreitas ou com poucos defeitos, que seriam descartadas ou não aproveitadas na serraria (LIMA *et al.*, 2008; MUARA JUNIOR; DANAWADE *et al.*, 2014). No entanto, alguns fatores inerentes a madeira e ao processo de confecção dos painéis EGP precisam ser considerados, a fim de gerar um produto de alta qualidade.

1.4.3 Principais fatores que influenciam na qualidade de colagem de painéis colados lateralmente (EGP) e como determiná-la

1.4.3.1 Propriedades da madeira

As propriedades físicas da madeira que mais influenciam no processo de colagem de madeiras são a massa específica e o teor de umidade, sendo distinto o efeito de cada uma (MARRA, 1992). Segundo Iwakiri (2005) há uma relação inversa entre a porosidade da madeira e a capacidade de penetração do adesivo em sua estrutura, de forma que, segundo Marra (1992), madeiras mais porosas, ou seja, de baixa massa específica, absorvem e penetram maior quantidade de adesivo, o que pode acarretar na linha de cola “faminta”.

Quanto ao teor de umidade, Selbo (1975) explica que a água da linha de cola pode ser removida muito rapidamente, caso a umidade esteja abaixo do indicado, levando a cura precoce do adesivo, que não será capaz de preencher e umectar quando a peça for colocada na prensa sob pressão. Contudo, se a umidade da madeira estiver muito elevada, esse autor comenta ainda que a cura e a secagem

serão prejudicadas, pois será necessário maior tempo de prensagem, o que pode diminuir a resistência na linha de cola. Neste sentido, Marra (1992) comenta que a umidade pode causar alterações dimensionais na madeira e conseqüentemente na linha de cola, sendo que isso é mais evidente em materiais de alta massa específica.

Dentre as propriedades químicas, a quantidade e o tipo de extrativos podem influenciar na qualidade dos painéis EGP, podendo interferir na polimerização do adesivo e comprometer a qualidade do produto final (LIMA *et al.*, 2008). De acordo com Fonte e Trianoski (2015), a resistência a adesão interna pode ser consideravelmente reduzida e a linha de cola ser de baixo desempenho se o teor de extrativos na madeira for elevado.

O pH da madeira constitui outra propriedade que pode influenciar no processo de produção de painéis EGP, pois segundo Iwakiri (2005), ele pode ser alterado conforme os extrativos migram entre as camadas da madeira. Neste sentido, este autor comenta que pode haver um pré-endurecimento do adesivo, dificultando a sua fluidez, umectação e penetração.

Outro fator a ser considerado diz respeito ao teor de cinzas, o qual influencia indiretamente na qualidade da ligação adesiva, pois pode alterar o pH da madeira, além de comprometer a sua usinabilidade caso o conteúdo de sílica seja elevado (MARRA, 1992; IWAKIRI, 2005).

1.4.3.2 Adesivos e processo de colagem

Além dos fatores relativos à madeira, o tipo e a quantidade de adesivo bem como outras variáveis do processo de prensagem (pressão, tempo de prensagem e temperatura) podem influenciar a qualidade dos painéis EGP (BUSTOS *et al.*, 2003; IWAKIRI, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2013). De acordo com Conti (2011) os adesivos mais adequados para a produção desses painéis são a emulsão polimérica de isocianato (EPI) e os à base de acetato polivinila (PVA), pois são de baixo custo, alta resistência na linha de cola (EPI) e elevada produtividade.

A gramatura do adesivo é uma variável de extrema importância, pois ela pode comprometer a resistência mecânica do painel caso não seja utilizada na quantidade adequada (IWAKIRI *et al.*, 2013). Esses autores salientam ainda que é preciso estabelecer a dosagem de gramatura adequada para cada espécie madeireira, a fim de garantir a máxima qualidade da colagem bem como do produto final.

Com relação à pressão aplicada durante o processo de prensagem, Tienne (2006) e Frihart e Hunt (2010) alertam que o adesivo pode escoar para fora da linha de cola, caso ela seja maior do que o necessário, e se ela for menor, o adesivo pode não penetrar corretamente na madeira, comprometendo a qualidade da colagem. Neste contexto, Marra (1992) afirma que madeiras de alta massa específica necessitam de maiores pressões, por isso, Tienne (2006) diz que a definição da pressão a ser aplicada é feita com base na massa específica da madeira.

Quanto ao tempo de prensagem, sua definição leva em consideração o tipo de adesivo utilizado, o teor de umidade da madeira bem como o tipo de prensa (quente, fria ou alta frequência) empregada no processo de prensagem (SELBO, 1975; MARRA, 1992). A perda de umidade do adesivo é mais lenta se a umidade da madeira for alta, sendo necessário o aumento do tempo de prensagem, contudo, caso a temperatura ambiente ou da prensa estejam elevadas, a reação de cura do adesivo é acelerada e por isso o tempo de prensagem deve ser reduzido (SELBO, 1975; MARRA, 1992; WENGERT, 2002).

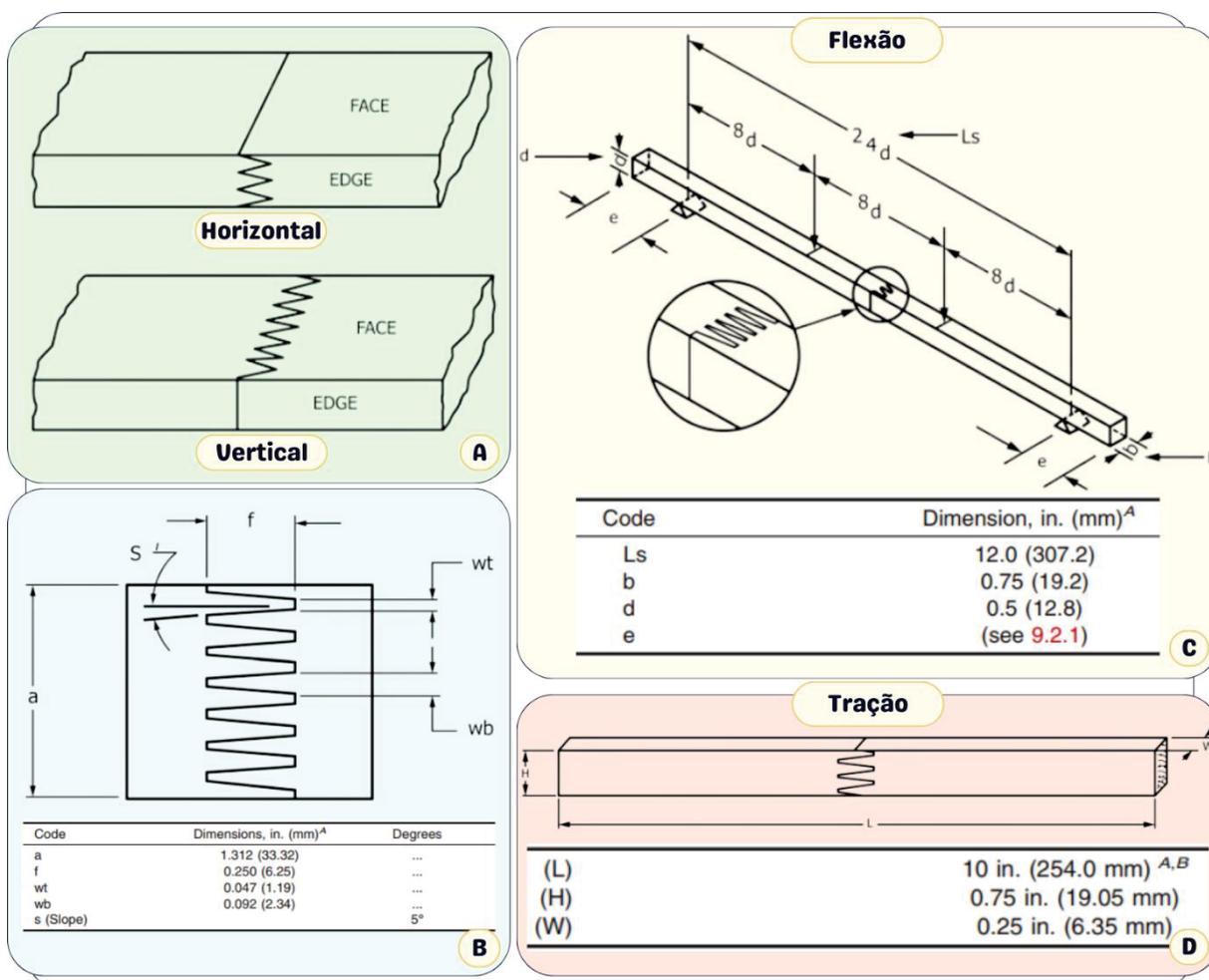
1.4.3.3 Determinação da qualidade de colagem em painéis EGP

A qualidade de colagem em painéis EGP é avaliada por meio da realização de testes em emendas *finger joint* (colagem de topo) e juntas coladas lateralmente (colagem lateral). Esses testes têm como finalidade definir se os adesivos utilizados nas colagens atendem aos requisitos normativos das classes de desempenho e identificar as condições de uso adequadas para a ligação adesiva, conforme a classe.

Para a avaliação da colagem de topo comumente é utilizada a norma ASTM D5572-95 (ASTM, 2019). Essa norma fornece especificações para os métodos dos testes de flexão e tração, abrangendo desde o condicionamento necessário para todas as etapas na preparação, exposição e testes das amostras, bem como, os cálculos e requisitos para a interpretação dos resultados.

Para emendas de topo do tipo *finger joint* os dentes podem ser fresados no sentido horizontal ou vertical em relação à face do sarrafo (FIGURA 1.2 A). A norma também fornece as dimensões para uma fresagem horizontal padrão típica (FIGURA 1.2 B) e para as amostras (corpos de prova) para os testes de flexão e tração (FIGURA 1.2 C e D).

FIGURA 1.2 – *FINGER JOINT* HORIZONTAL E VERTICAL (A), DIMENSÕES DE EXEMPLO PARA *FINGER JOINT* PADRÃO DE TESTE E CORPOS DE PROVA PARA OS TESTES DE FLEXÃO (C) E TRAÇÃO (D)

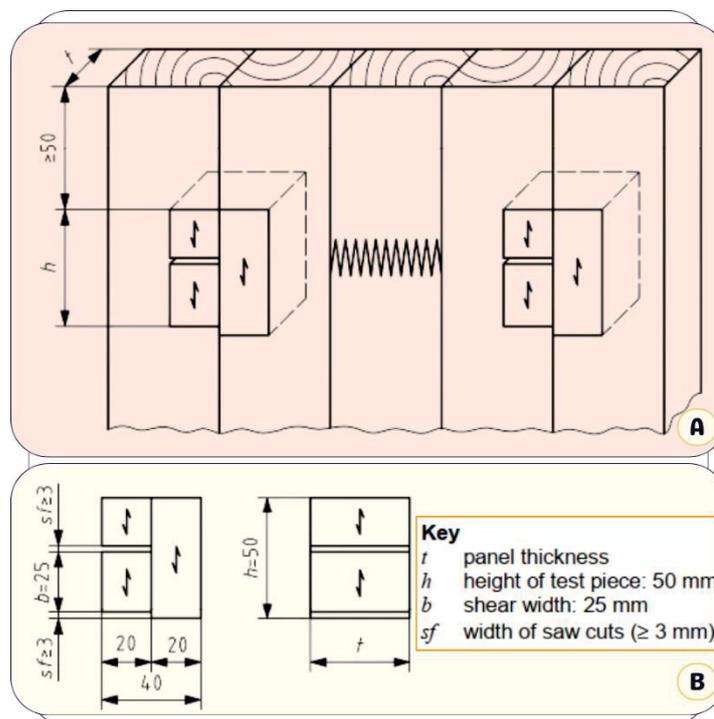


FONTE: Adaptado de ASTM (2019).

Os requisitos mínimos dessa norma são baseados em valores referência de resistência da ligação adesiva, para os testes de flexão e tração, e a classificação de desempenho das colagens é feita para usos seco ou úmido. Para o teste de tração também é estimado e avaliado o percentual de falha na madeira após a realização do ensaio. Os resultados obtidos a serem apresentados representam o valor médio calculado para cada grupo de amostras, de acordo com as condições de exposição.

Para avaliação da colagem lateral geralmente são utilizadas as normas EN 326-1 (EN, 1994), 13354 (EN, 2008a) e EN 13353 (EN, 2008b). A norma 13354 (EN, 2008a) especifica o procedimento de amostragem para retirada das peças (corpos de prova) (FIGURA 1.3) para a realização do teste de cisalhamento que determina a qualidade da ligação adesiva de painéis de madeira maciça de camada única (painéis de colagem lateral).

FIGURA 1.3 – EXEMPLO DE PLANO DE CORTE (A) E PEÇAS DE TESTE PARA PAINÉIS DE MADEIRA MACIÇA (B) DE CAMADA ÚNICA (EGP)



FONTE: Adaptado de ASTM (2019).

A norma EN 13353 (EN, 2008b) fornece especificações dos requisitos mínimos de resistência para painéis de madeira maciça para uso em condições secas, úmidas e exteriores, conforme definido nas classes de serviço. Sendo que para painéis de camada única o 5º percentil inferior da resistência ao cisalhamento deve ser igual ou superior a 2,5 MPa e calculado de acordo com a 326-1 (EN, 1994), e o percentual de falha na madeira deve ser superior a 40%.

1.4.4 Acabamento superficial por revestimentos

O acabamento superficial consiste num processo tecnológico que agrega valor, proporciona melhoria estética e de qualidade e confere maior durabilidade aos produtos madeireiros (SLABEJOVÁ, 2011; DIAS JÚNIOR *et al.*, 2015). Existem diversas possibilidades de acabamento e de produtos de madeira, como a coloração, a descoloração, a pintura ou ainda a aplicação de papel ou papel impregnado (SLABEJOVÁ, 2011).

Um acabamento líquido consiste em fluídos (verniz, tinta, laca, etc.) que após a aplicação se espalharão sobre a superfície da madeira formando um filme fino de

revestimento após a secagem, aderente e resistente, melhorando a aparência e o desempenho em uso (CTBA, 2007). Assim, a aplicação de um acabamento sobre a madeira também é recomendada para proteger a sua superfície (RAJEMISON, 2013). Além de preservar a cor natural e apenas ajustar o brilho da madeira, quando se utiliza revestimentos transparentes (SLABEJOVÁ; ŠMIDRIAKOVÁ; FEKIAČ, 2016).

As propriedades da superfície da madeira, físicas ou químicas e do revestimento são determinantes da qualidade e durabilidade dos revestimentos de acabamento superficial (SILVA *et al.*, 2009; WILLIAMS, 2010; COOL, 2011; ROWELL, 2012). Entretanto, diferentes aspectos podem influenciar o desempenho do revestimento na madeira, incluindo a maneira que sua superfície é preparada, razão pela qual as análises da rugosidade e do comportamento ao umedecimento das superfícies são frequentemente usadas para avaliar a qualidade superficial de madeiras usinadas antes do revestimento (UGULINO; HERNÁNDEZ, 2017).

Nesse contexto, Slabejová (2011) comenta que para reduzir ao máximo a rugosidade da superfície do produto de madeira é indispensável o uso de revestimentos adequados, para assim se obter um acabamento superficial de alta qualidade. Pois sabe-se que o desempenho do revestimento é fortemente influenciado pelas suas interações de adesão com a interface da madeira (VITOSYTĚ; UKVALBERGIENĚ; KETURAKIS, 2012). Os autores explicam que pode acontecer de o revestimento aderido a uma superfície falhar devido a sua descolagem da superfície. Diante disso, eles ainda consideram que para se determinar os fatores que governam o desempenho de um revestimento em uma superfície é preciso entender tanto as suas características quanto as da madeira utilizada.

A vida útil do acabamento também constitui outro fator importante, pois a superfície da madeira e o revestimento envelhecem e se degradam lentamente, sendo influenciados principalmente por fatores bióticos e abióticos (SLABEJOVÁ; ŠMIDRIAKOVÁ; FEKIAČ, 2016), podendo esse processo ser acelerado em função das condições de uso a que os produtos são expostos. A exemplo dos revestimentos de produtos de uso em interiores, que são influenciados principalmente pela luz solar (SCRINZI *et al.*, 2011; SLABEJOVÁ; ŠMIDRIAKOVÁ; FEKIAČ, 2016).

Nesse caso, a qualidade e a durabilidade de um revestimento podem ser determinadas através de testes de resistência à adesão e de intemperismo (UGULINO; HERNÁNDEZ, 2016). A resistência à adesão demonstra a interação entre o revestimento e a superfície da madeira (UGULINO; HERNÁNDEZ, 2017). Essa

propriedade mecânica pode ser mensurada através de vários métodos, como o teste de corte cruzado, a remoção de fita ou o teste de arranque/tração (*pull-off*) (DE MOURA; HERNÁNDEZ, 2006; COOL; HERNÁNDEZ, 2011; VITOSYTĖ; UKVALBERGIENĖ; KETURAKIS, 2012). Enquanto o teste de intemperismo acelerado fornece importantes informações sobre a durabilidade do revestimento na madeira, em um tempo menor em relação ao intemperismo natural (UGULINO; HERNÁNDEZ, 2017). Assim, a realização do teste de adesão após um envelhecimento acelerado fornecerá informações sobre o desempenho do revestimento a longo prazo (UGULINO; HERNÁNDEZ, 2016), o que poderá indicar a sua vida útil.

Contudo, critérios isolados não são suficientes para caracterizar a qualidade da superfície da madeira e sua capacidade de receber um produto de acabamento (RAJEMISON, 2013). Por isso, segundo essa autora os diferentes tipos de critérios devem ser avaliados em conjunto (critérios de qualidade da superfície, estéticos, de desempenho do verniz, etc.), visando obter o maior número de informações sobre a adequação das espécies de madeira para receber um acabamento. Nesse sentido, Dias Júnior *et al.* (2013) chamam a atenção para o fato de que no Brasil são poucos os trabalhos realizados com a finalidade de agregar valor em peças de madeira para setores mais exigentes em qualidade, como é o caso do setor moveleiro.

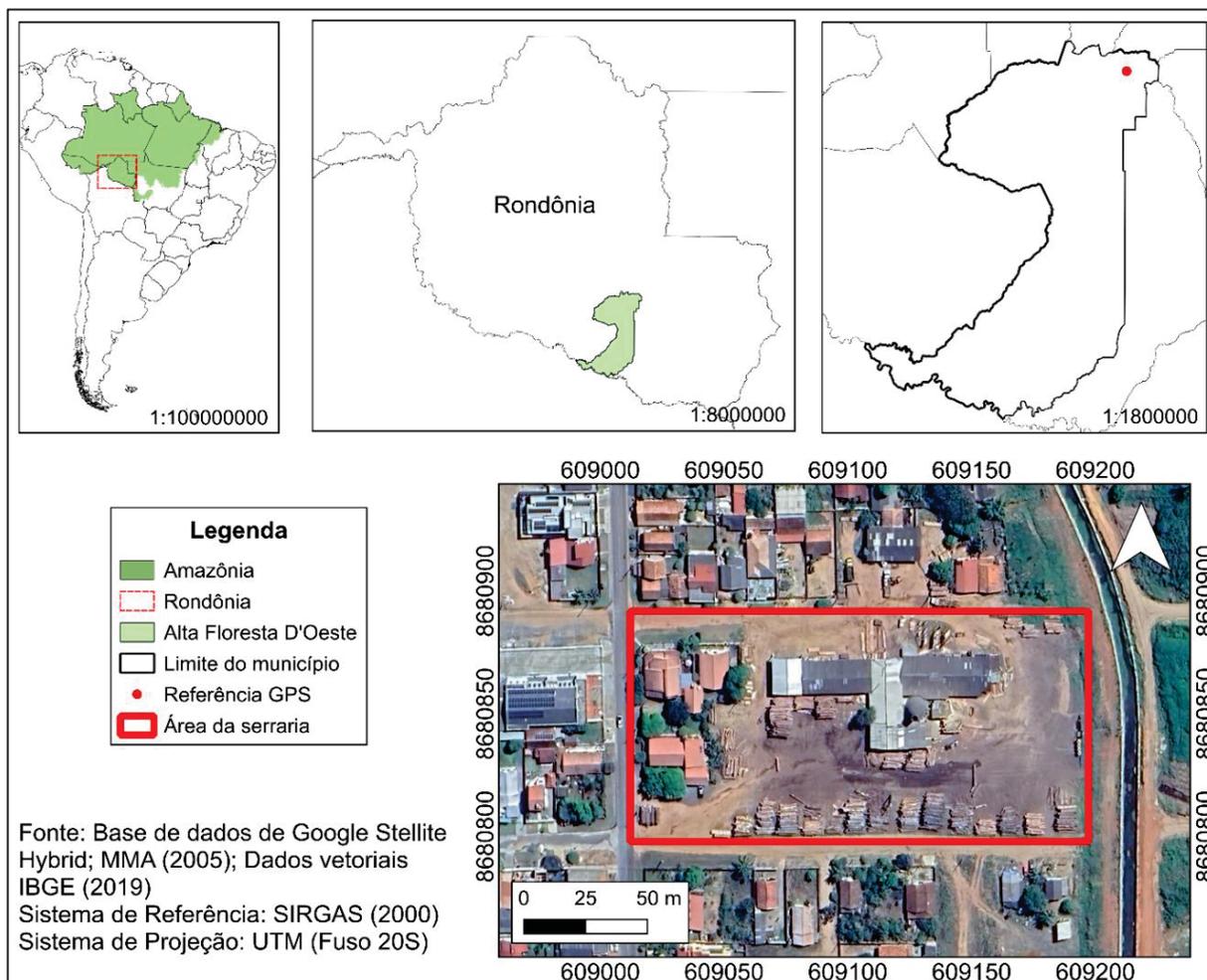
1.5 METODOLOGIA GERAL

1.5.1 Coleta da matéria-prima

A matéria-prima utilizada neste estudo foi doada pela empresa Rovermad, localizada no município de Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, na Amazônia Sul Ocidental brasileira, onde está em operação há mais de 30 anos (FIGURA 1.4). As madeiras comercializadas pela empresa são de espécies nativas e oriundas de planos de manejo florestal sustentável, em conformidade com a legislação vigente.

O clima da região é tropical úmido e quente, do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por apresentar pluviosidade média anual de 2.500 mm, com estações seca e chuvosa bem definidas e temperatura média anual de 24 °C (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; RONDÔNIA, 2009; SILVA, 2009).

FIGURA 1.4 – LOCALIZAÇÃO DA SERRARIA ONDE FOI COLETADO OS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA DE ESPÉCIES TROPICAIS



FONTE: A autora (2024).

Foram coletados resíduos de madeira sólida (costaneiras, aparas e sobras) das espécies *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erisma uncinatum* e *Qualea paraensis* (FIGURA 1.5 A, B, C e D) para os ensaios de colagem. Também foram coletados discos da porção basal de três toras de cada espécie (FIGURA 1.5 E) para determinação das propriedades físicas e químicas. Essas espécies foram selecionadas para o estudo por apresentarem os maiores volumes comercializados na região, maiores volumes de toras em pátio e, conseqüentemente, gerarem maior volume de resíduos.

FIGURA 1.5 – RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA (A, B, C, D) E DISCOS (E) COLETADOS



FONTE: A autora (2024).

As amostras dos resíduos madeireiros foram coletadas no momento do desdobro dos lotes de toras de cada espécie selecionada, de acordo com a demanda e disponibilidade da serraria (FIGURA 1.6 A e B). Foram coletadas amostras de resíduos de cinco toras de cada espécie, selecionadas aleatoriamente, buscando-se obter um volume de matéria-prima semelhante para todas, que ao final compuseram uma amostra única por espécie (FIGURA 1.6 C e D).

FIGURA 1.6 – DESDOBRO (A), REDUÇÃO DE DIMENSÕES DE RESÍDUOS (B) E AMOSTRAS ÚNICAS DE RESÍDUOS DAS ESPÉCIES *C. odorata* (C) E *E. uncinatum* (D)



FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: A) e B) = costaneiras, aparas e sobras das madeiras de *Q. paraensis* e *E. uncinatum*; Amostras únicas de resíduos das espécies C) *C. odorata* e D) *E. uncinatum*.

Após a coleta os resíduos de madeira sólida foram espalhados e pulverizados com inseticida (Fipromix), a fim de controlar e prevenir ataques de agentes xilófagos (FIGURA 1.7). A aplicação do inseticida seguiu as recomendações do fabricante do produto. Foram realizadas reaplicações do produto, conforme a necessidade, enquanto o material permaneceu no local de armazenamento temporário até o transporte para o laboratório de realização dos experimentos.

FIGURA 1.7 – APLICAÇÃO DE INSETICIDA



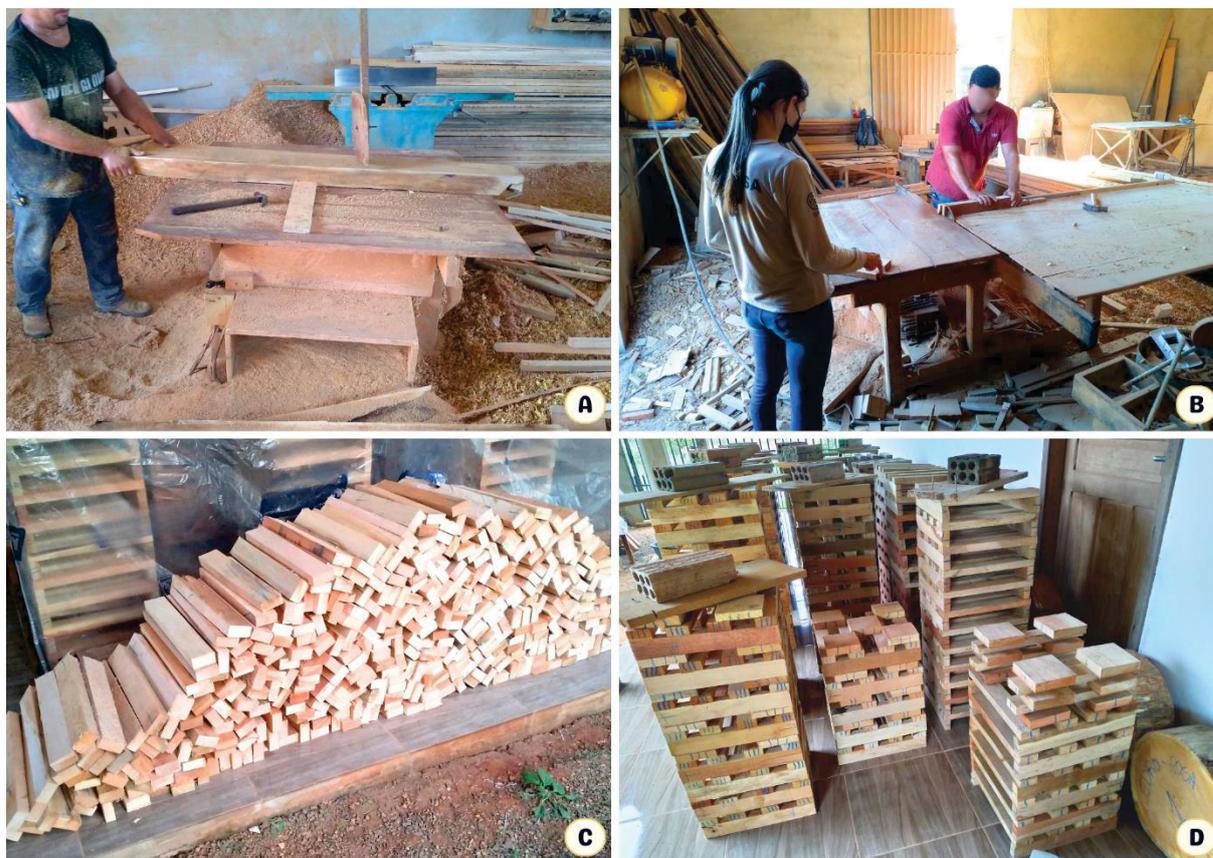
FONTE: A autora (2024).

1.5.2 Pré-beneficiamento dos resíduos de madeira sólida e transporte do material

As amostras únicas dos resíduos de madeira sólida coletados de cada espécie foram pré-beneficiadas realizando-se a serragem e conversão para sarrafos com dimensões de 400 mm de comprimento x 60 mm de largura x 30 mm de espessura para realização dos experimentos de colagens (FIGURA 1.8 A, B, C). Também foram confeccionadas amostras com dimensões de 130 mm de comprimento x 130 mm de largura x 30 mm de espessura para os ensaios de acabamento.

A TABELA 1.1 apresenta o volume de matéria-prima obtido por espécie após o pré-processamento. O material pré-beneficiado foi empilhado e mantido sob local coberto em temperatura ambiente para pré-secagem ao ar livre, onde permaneceu por aproximadamente 90 dias, até o momento do transporte para o local de realização dos experimentos (FIGURA 1.8 D).

FIGURA 1.8 – PRÉ-PROCESSAMENTO (A, B, C) E PRÉ-SECAGEM/ARMAZENAMENTO (D) DOS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA



FONTE: A autora (2024).

TABELA 1.1 – VOLUME DE MATÉRIA-PRIMA OBTIDO APÓS O PRÉ-PROCESSAMENTO DAS ESPÉCIES *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis*

Espécie	Sarrafos	Discos
	(m ³)	
<i>C. odorata</i>	0,2432	0,0429
<i>E. schomburgkii</i>	0,2529	0,0541
<i>E. uncinatum</i>	0,3330	0,0608
<i>Q. paraensis</i>	0,2331	0,0348

FONTE: A autora (2024).

Posteriormente, o material foi preparado e embalado para o transporte (FIGURA 1.9 A, B, C). Em seguida, foi transportado para o Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR (FIGURA 1.9 D), onde foi realizada a parte experimental do estudo. Os detalhes específicos de cada etapa experimental foram descritos nos capítulos subsequentes.

FIGURA 1.9 – PREPARO E EMBALAGEM DO MATERIAL PARA O TRANSPORTE (A, B, C) E MATERIAL NO LABORATÓRIO DE PAINÉIS DE MADEIRA DA UFPR (D)



FONTE: A autora (2024).

CAPÍTULO 2

PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CERNE E ALBURNO EM RESÍDUOS DO DESDOBRO DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS EGP

RESUMO

Considerando que a madeira é um material heterogêneo, cujas propriedades físicas e químicas variam dentro da mesma espécie e até mesmo dentro da mesma árvore, a caracterização tecnológica de madeiras provenientes de resíduos do processamento de serrarias é indispensável para a otimização do seu aproveitamento. O objetivo deste capítulo foi determinar as propriedades físicas (densidade, retratibilidade e cor) e químicas (extrativos, pH e cinzas) dos resíduos de madeiras de cerne e alburno de quatro espécies amazônicas visando o seu uso em aplicações de maior valor agregado. Foram coletados discos de três toras das madeiras de *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erismia uncinatum* e *Qualea paraensis*, a partir dos quais foram confeccionadas amostras com 5 cm x 2 cm x 2 cm de comprimento, largura e espessura, para a determinação das propriedades físicas, e do material restante foi retirada a serragem para determinação das propriedades químicas. Todas as análises foram feitas para os lenhos de cerne e alburno. As espécies *C. odorata* (0,43 e 0,53 g.cm⁻³, densidade básica e aparente, respectivamente) e *E. uncinatum* (0,43 e 0,54 g.cm⁻³) apresentaram densidades classificadas como leve e *E. schomburgkii* (0,60 e 0,74 g.cm⁻³) e *Q. paraensis* (0,59 e 0,73 g.cm⁻³) como média. O cerne apresentou maior densidade que o alburno. *C. odorata* apresentou menor anisotropia de contração (1,37), sendo classificada como muito estável, e as demais espécies consideradas como de média instabilidade a muito instável (2,23 a 2,68). De modo geral, madeiras de cerne apresentaram maior teor de extrativos, menor teor de cinzas e menor pH. *C. odorata* apresentou maior teor de extrativos, *E. schomburgkii* menor teor de cinzas e essas mesmas espécies apresentaram os maiores valores de pH. As madeiras de alburno apresentaram coloração mais clara em relação ao cerne para todas as espécies. A coloração do cerne de *E. uncinatum* foi considerada escura, enquanto as demais foram claras. A classificação da cor das madeiras de cerne e alburno variou de tons claros como o rosa-acinzentado (alburno de *C. odorata*) a tons escuros como marrom-avermelhado (cerne de *E. uncinatum*). As madeiras, provenientes de resíduos, das espécies avaliadas apresentaram características físicas e químicas compatíveis para processos de colagem e, portanto, podem ser consideradas potenciais para a produção de painéis EGP.

Palavras-chave: Caracterização tecnológica. Resíduos madeireiros. Aproveitamento. Valorização da matéria-prima. Painéis EGP.

2.1 INTRODUÇÃO

Apesar de ser considerada uma fonte renovável, a madeira é um recurso finito (ZHANG *et al.*, 2014). Para assegurar sua disponibilidade, é necessário o uso racional baseado no princípio do rendimento sustentável, o que requer a utilização consciente da madeira, garantindo seu suprimento para as gerações futuras (VIDAURRE *et al.*, 2011).

A madeira é um material heterogêneo, cujas propriedades físicas e químicas são variáveis tanto entre espécies quanto dentro da mesma espécie, e são atribuídas a fatores ambientais, genéticos, idade, entre outros (SILVA *et al.*, 2013). Essa variabilidade gera materiais com diferentes características, que são tratados e utilizados de formas diferentes. Madeiras de alburno e de transição (com cerne e alburno), por exemplo, são descartadas pelas indústrias e usualmente destinadas para a produção de energia, devido às diferenças em suas propriedades (KLITZKE *et al.*, 2008). Geralmente, madeiras de espécies tropicais enfrentam limitações no mercado devido a irregularidade e diferença de propriedades estéticas entre o alburno e o cerne (MOYA *et al.*, 2012), o que leva a geração de um alto volume de resíduos madeireiros (HUMMEL *et al.*, 2010; RAMOS *et al.*, 2017).

Na região amazônica, o volume de resíduos madeireiros gerados no processamento primário pode chegar a 60-65%, devido às baixas taxas de conversão de toras para produtos, os quais ainda são predominantemente de baixo valor agregado (LENTINI; VERÍSSIMO; SOBRAL 2003; LENTINI *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2010; VALDIONES *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2024). Embora as necessidades de produtos renováveis de baixa emissão de carbono e de um maior aproveitamento dos materiais lignocelulósicos disponíveis tenham aumentado a demanda pelos recursos madeireiros (BLANCHET; BRETON, 2020; IEJAVS *et al.*, 2022), iniciativas dedicadas à utilização de resíduos de madeira sólida tropical para a fabricação de produtos de maior valor agregado, como, por exemplo, painéis de madeira, são escassas (VALDIONES *et al.*, 2022).

Um dos tipos de painéis de madeira que representa uma alternativa viável para otimizar o aproveitamento de resíduos de madeira sólida na região amazônica é o painel de colagem lateral (*Edge glued panel* - EGP) (BILA *et al.*, 2016), pois uma de suas principais características é a possibilidade de aproveitamento de resíduos do processamento de toras em serrarias (costaneiras e peças não conformes) no seu

processo produtivo (TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020). Contudo, os trabalhos realizados até o momento, acerca da utilização de espécies tropicais amazônicas para a produção de painéis EGP, concentraram-se em investigar a adequação da madeira de diferentes espécies e de peças não conformes de madeiras já classificadas restantes de outros processos produtivos (IWAKIRI *et al.*, 2015; BILA *et al.*, 2016; IWAKIRI *et al.*, 2016; CAMPELO *et al.*, 2017; ARAUJO *et al.*, 2019; ROJAS *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020; BILA *et al.*, 2021). Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos, como costaneiras, aparas e sobras (BRASIL, 2016), uma matéria-prima heterogênea, para geração de produtos de maior valor agregado, como os painéis EGP, ainda é um desafio a ser superado (VALDIONES *et al.*, 2022).

Os resíduos de madeira sólida tropical provenientes do processamento primário caracterizam-se por serem heterogêneos e compostos de misturas de madeiras de cerne e alburno de espécies variadas. Nesse contexto, a caracterização tecnológica de madeiras sólidas tropicais oriundas de resíduos do processamento de serrarias é importante para otimizar seu aproveitamento e, por conseguinte, alcançar a produção de produtos com maior qualidade. Portanto, o objetivo deste capítulo foi determinar as propriedades físicas (densidade, retratibilidade e cor) e químicas (extrativos, pH e cinzas) dos resíduos de madeiras de cerne e alburno de quatro espécies amazônicas visando o seu uso em aplicações de maior valor agregado.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo foram utilizados discos de três toras de madeira das espécies *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erisma uncinatum* e *Qualea paraensis*, oriundas de planos de manejo florestal sustentável em conformidade com a legislação vigente. Esse material foi gentilmente doado pela Empresa Rovermad, localizada no município de Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, na Amazônia Sul Ocidental brasileira (11°55'52" S e 61°59'52" O), onde está em atividade há mais de 30 anos. As espécies foram selecionadas por apresentarem os maiores volumes comercializados na região, maiores volumes em pátio e, conseqüentemente, gerarem maior quantidade de resíduos. A TABELA 2.1 apresenta as famílias, os nomes populares e os diâmetros médios da base das três toras de cada espécie, que tinham um tempo médio de pátio de um ano e meio na época da coleta.

TABELA 2.1 – INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE AS ESPÉCIES DE MADEIRAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO

Família	Espécie	Nome popular	Diâmetro (cm)
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro-rosa	52,5
Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Orelha-de-macaco	60,6
Vochysiaceae	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	Cedrinho	75,1
Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Cambará	53,5

FONTE: A autora (2024).

Foram retirados discos com espessura de 15 cm das porções basais das toras (ponta mais grossa) (FIGURA 2.1). De cada disco de madeira foi retirada uma faixa central de 5 cm de largura, incluindo a região da medula, que foi utilizada para a confecção dos corpos de prova para a determinação das propriedades físicas e caracterização colorimétrica. O material restante dos discos foi utilizado para obtenção de maravalhas, com auxílio de uma plaina desempenadeira, para a determinação das propriedades químicas.

FIGURA 2.1 – SEÇÃO TRANSVERSAL DOS DISCOS DAS ESPÉCIES SELECIONADAS PARA O ESTUDO. ESCALA (TRAÇOS) = 5 CM



FONTE: A autora (2024).

Todas as amostragens e análises foram feitas para as madeiras de cerne e de albarno de cada espécie, visto que, na prática os resíduos de madeira sólida de serrarias contemplam esses dois tipos de materiais.

2.2.1 Determinação das propriedades físicas

A partir da faixa central extraída de cada disco foram confeccionados corpos de prova, livres de defeitos, com dimensões finais de 5 cm x 2 cm x 2 cm de comprimento, largura e espessura, retirados sequencialmente de uma extremidade à

outra passando pelo centro da medula, para determinação das densidades básica (D_b) e aparente 12% (D_{ap}) e retratibilidade, seguindo os procedimentos das normas ISO 13061-2 (ISO, 2014) e 13061-14 (ISO, 2016) (FIGURA 2.2). Foram retirados de cada disco ao menos três corpos de prova de cada tipo de lenho, variando de acordo com o tamanho do disco e proporção de cerne e alburno.

FIGURA 2.2 – CORPOS DE PROVA EXTRAÍDOS DA FAIXA CENTRAL DE A) *Q. paraensis* E B) PONTOS DE MEDIÇÃO NO CORPO DE PROVA.



FONTE: A autora (2024).

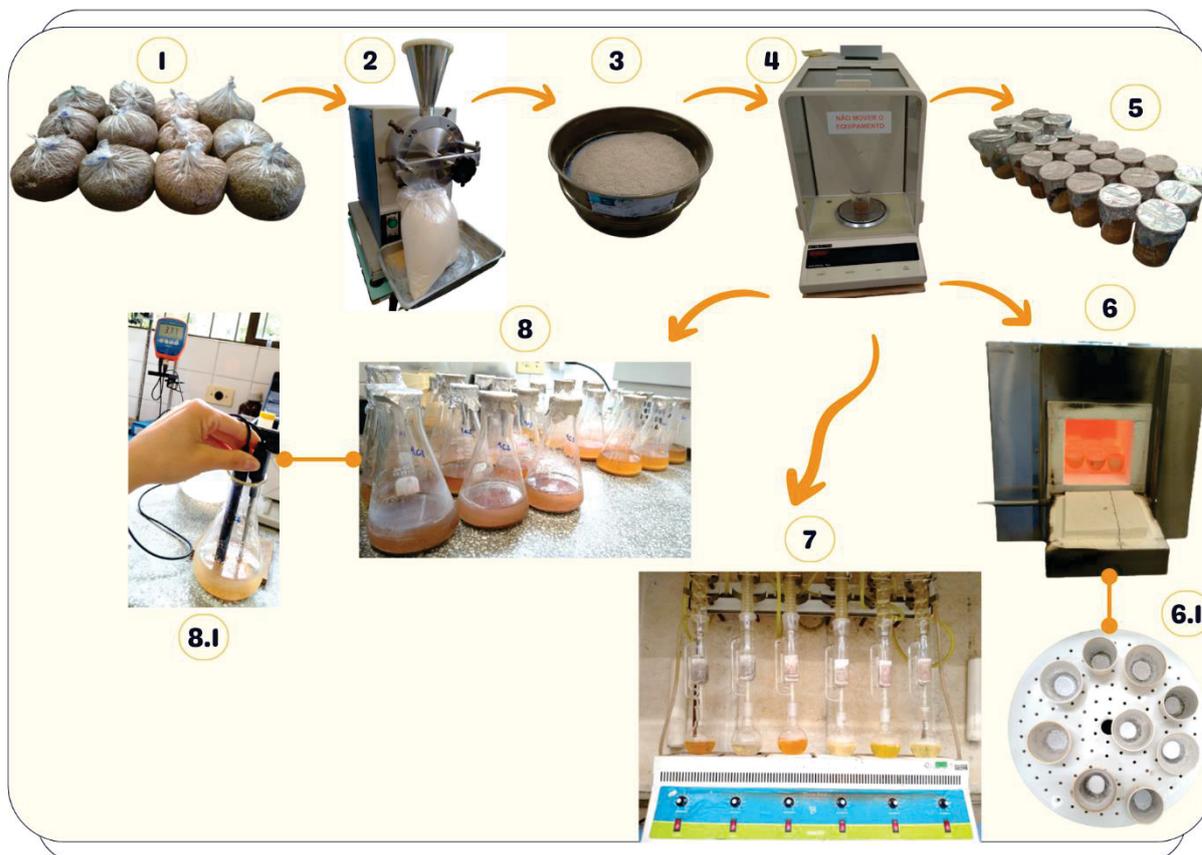
As superfícies das amostras foram previamente polidas com lixa de granulometria 220 de forma manual, a fim de eliminar a influência de marcas de serra e oxidação. Para a determinação da retratibilidade das madeiras foram realizadas três medidas em pontos equidistantes em cada lado dos corpos de provas, sendo as mensurações feitas sempre em relação ao plano tangencial.

2.2.2 Determinação das propriedades químicas

A maravalha foi convertida em serragem, com auxílio de um moinho de facas tipo Wiley, e classificada por meio de peneiras com malhas de 40 e 60 *mesh*, sendo utilizado nas análises o material retido na última peneira, segundo as orientações da norma TAPPI T 257 sp-14 (2014), em três repetições para cada tipo de lenho em cada espécie. Foram determinados: o teor de extrativos totais, conforme a norma TAPPI T 204 cm-17 (2017); o teor de cinzas, segundo a norma TAPPI T 211 om-16 (2016) e o pH, de acordo com a norma TAPPI T 252 om-12 (2012). Um resumo visual das etapas

realizadas para a determinação das propriedades químicas das madeiras é apresentado na FIGURA 2.3.

FIGURA 2.3 – ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*



FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: 1) = Amostras de maravalha; 2) = Moagem da maravalha; 3) = Classificação da serragem; 4) = Pesagem das amostras a serem utilizadas nas análises; 5) = Amostras utilizadas na determinação do teor de umidade; 6) e 6.1) = Determinação do teor de cinzas; 7) = Determinação do teor de extrativos totais; 8) e 8.1) = Determinação do pH.

2.2.3 Caracterização colorimétrica

A caracterização colorimétrica foi realizada utilizando-se 10 corpos de prova para cada tipo de lenho em cada espécie. As amostras foram mantidas sob temperatura de 25 ± 2 °C e umidade de $50 \pm 2\%$ para padronizar o teor de umidade antes da realização das leituras colorimétricas, conforme recomendações de Lazarescu *et al.* (2017).

A mensuração das cores das madeiras foi realizada segundo o sistema CIE $L^*a^*b^*$, utilizado um espectrofotômetro Konica Minolta CM-5, com lâmpada de

xenônio, com ângulo de observação de 10 graus e fonte de luz D65, operando na faixa espectral de 360 nm a 740 nm. Foram realizadas 10 leituras em pontos aleatórios em cada corpo de prova, obtendo-se os valores de L^* (luminosidade), a^* (coordenada cromática vermelho-verde) e b^* (coordenada cromática azul-amarelo). A partir desses dados foram calculados C^* (saturação) e h (ângulo de tinta), conforme as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad 1)$$

$$h = \arctang \frac{b^*}{a^*} \quad 2)$$

Em que: a^* = coordenada do eixo vermelho-verde;

b^* = coordenada do eixo azul-amarelo;

C^* = saturação, adimensional;

h^* = ângulo de tinta, em graus.

A cor da madeira de cada espécie foi classificada segundo a tabela de cores proposta por Camargos e Gonzalez (2001). A fim de analisar o comportamento espectral de cada espécie, foram construídas curvas de reflectância utilizando-se os valores médios obtidos em cada comprimento de onda.

2.2.4 Análise estatística

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e a homocedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$). Os dados foram analisados por ANOVA *two-way* para testar o efeito de espécies, tipo de lenho e suas interações. Quando significativo pelo teste F, as médias foram comparadas pelos testes *post-hoc* de Tukey entre espécies e *t* de *student* ($p > 0,05$) entre tipo de lenho, bem como apresentadas juntamente com o coeficiente de variação. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* SISVAR, VERSÃO 5.6 (FERREIRA, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Propriedades físicas

As densidades, D_b e D_{ap} , das madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* foram estatisticamente diferentes (TABELA 2.2). *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* apresentaram D_b e D_{ap} estatisticamente superiores e não diferiram entre si. *C. odorata* e *E. uncinatum* também apresentaram D_b e D_{ap} estatisticamente iguais entre si. Quanto ao tipo de lenho, o cerne apresentou D_b e D_{ap} superior ao alburno.

TABELA 2.2 – DENSIDADES BÁSICA E APARENTE DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis* E POR TIPO DE LENHO

Espécie	D_b	D_{ap}
	(g.cm ⁻³)	
<i>C. odorata</i>	0,43 b (8,47)	0,53 b (8,93)
<i>E. schomburgkii</i>	0,60 a (5,59)	0,74 a (5,89)
<i>E. uncinatum</i>	0,43 b (5,74)	0,54 b (6,00)
<i>Q. paraensis</i>	0,59 a (10,93)	0,73 a (11,04)
Lenho		
Cerne	0,54 a (2,12)	0,67 a (1,41)
Alburno	0,49 b (2,40)	0,60 b (2,78)

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Densidades D_b = básica e D_{ap} = aparente (12% de umidade). Médias seguidas pelas mesmas letras, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey entre espécies e pelo teste t entre tipo de lenho, a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

De acordo com Coradin *et al.* (2010) *C. odorata* e *E. uncinatum* possuem D_b leve (menor que 0,50 g.cm⁻³) e *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* possuem D_b média (0,50 g.cm⁻³ a 0,72 g.cm⁻³). A densidade da madeira é uma das propriedades mais importantes para a definição dos parâmetros de colagem no processo de produção de painéis EGP. A densidade está relacionada com as características anatômicas da madeira como a porosidade, tipos de células, transição da madeira inicial/tardia, dentre outras, que influenciam a penetração e mobilidade do adesivo em sua

estrutura, e conseqüentemente, na qualidade da colagem (KAMKE; LEE, 2007; HASS *et al.*, 2011; MUSAH *et al.*, 2021).

Industrialmente, as espécies mais utilizadas para a produção de painéis EGP são as que possuem madeiras com baixa a média densidade (TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020), como *Pinus taeda* (0,32 g.cm⁻³ a 0,34 g.cm⁻³), *Eucalyptus grandis* (0,39 g.cm⁻³ a 0,50 g.cm⁻³) e *Tectona grandis* (0,48 g.cm⁻³ a 0,64 g.cm⁻³) (LOBÃO *et al.*, 2011). Se for considerar a densidade das madeiras no teor de umidade usualmente adotado no momento da colagem (12%), *C. odorata* e *E. uncinatum* passam a apresentar D_{ap} classificada como média e *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* passam a apresentar D_{ap} pesada.

A influência da densidade nos processos de colagem de madeiras é bem explorada na literatura. Madeiras com alta densidade, por exemplo, tendem a apresentar baixa permeabilidade, o que dificulta a penetração do adesivo, sendo por isso, historicamente desaconselhada a sua colagem (FRIHART; HUNT, 2010). Por outro lado, madeiras com baixa densidade são consideradas as melhores para colagem, pois são umectadas mais facilmente por adesivos e exibem menos tensões nas linhas de cola, resultando em boa performance da ligação adesiva (HUNT *et al.*, 2018; ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o uso de madeiras com densidades mais elevadas também tem sido contraindicado no processo de produção de painéis EGP (TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020; TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020). Apesar disso, diversas espécies de madeiras tropicais nativas, com média a alta densidade, têm sido avaliadas e utilizadas com sucesso na produção de painéis EGP (ROJAS *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020; BILA *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2022). Outras espécies de eucalipto, como *E. camaldulensis* e *E. urophylla*, apesar de apresentarem densidades aparentes consideradas altas, 0,84 g.cm⁻³ e 0,72 g.cm⁻³, respectivamente, também apresentaram grande potencial para produção de painéis EGP (IWAKIRI *et al.*, 2019). Assim, considerando-se apenas a densidade, as madeiras avaliadas neste estudo podem ser consideradas potenciais para uso na fabricação de painéis EGP, pois apresentaram densidades bem próximas às de outras espécies já testadas anteriormente.

As madeiras de *C. odorata* e *E. uncinatum* apresentaram os menores valores de βl , βt , βr e βv , de modo geral (TABELA 2.3). Enquanto *C. odorata* apresentou a menor Ac e *E. uncinatum* a maior, mas não diferindo estatisticamente de *E.*

schomburgkii. Geralmente, baixos valores de βl , βt , βr , βv e Ac indicam madeiras com boa estabilidade dimensional. A aplicação da madeira está diretamente relacionada à sua capacidade de contrair e expandir em resposta às variações de umidade (MEDEIROS *et al.*, 2021).

TABELA 2.3 – RETRATIBILIDADE DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécie	βl	βt	βr	βv	Ac
<i>C. odorata</i>	0,36 b (18,91)	6,18 b (9,83)	4,55 a (10,14)	10,76 b (9,11)	1,37 c (7,84)
<i>E. schomburgkii</i>	0,49 a (8,58)	8,42 a (5,36)	3,58 b (6,90)	12,38 ab (6,17)	2,41 ab (7,53)
<i>E. uncinatum</i>	0,32 b (36,78)	8,14 a (9,91)	3,17 b (9,10)	11,33 b (8,06)	2,68 a (5,30)
<i>Q. paraensis</i>	0,47 a (22,72)	9,10 a (12,94)	4,19 a (14,60)	13,31 a (11,61)	2,23 b (10,94)

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Contrações βl = longitudinal; βr = radial; βt = tangencial; βv = volumétrica e Ac = anisotropia de contração, expressos em porcentagem. Médias seguidas pelas mesmas letras, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

De acordo com a avaliação de qualidade da madeira segundo o coeficiente de anisotropia proposta por Klitzke (2007), uma madeira é classificada como muito estável quando apresenta $Ac < 1,5$ (excelente qualidade), como média baixa estabilidade Ac de 1,6 a 2,0 (qualidade normal), como média instabilidade Ac de 2,0 a 2,5 (qualidade média baixa) e como muito instável com $Ac > 2,6$ (baixa qualidade). Com base nisso, *C. odorata* caracteriza-se como madeira muito estável, *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* como média instabilidade e *E. uncinatum* como madeira muito instável.

A variação dimensional da madeira está vinculada à densidade e variações no teor de umidade. Portanto, madeiras de alta densidade tendem a exibir as maiores mudanças dimensionais, o que gera tensões mais significativas na linha de cola, impactando negativamente o desempenho da união adesiva (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). Apesar disso, é possível reduzir os efeitos adversos da elevada anisotropia através da realização de colagem aleatória de sarrafos e da utilização de peças de madeira de dimensões menores na fabricação de painéis EGP (TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020). Nesse sentido, teoricamente, a estabilidade dimensional de um painel EGP confeccionado com espécies mistas, e retratibilidades distintas, pode ser

consideravelmente balanceada em comparação com um painel confeccionado com uma espécie única.

2.3.2 Propriedades químicas

A TABELA 2.4 apresenta os valores médios das propriedades químicas de cerne e alburno das madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis*. Os resultados das propriedades químicas foram estatisticamente diferentes, tanto entre espécie quanto entre tipo de lenho.

TABELA 2.4 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécie	Extrativos (%)		Cinzas (%)		pH			
					2 h		24 h	
	C	A	C	A	C	A	C	A
<i>C. odorata</i>	5,58 aA (3,03)	4,94 aB (4,62)	0,84 cB (1,85)	0,98 cA (2,30)	6,16 aA (0,25)	6,24 aA (0,98)	5,80 aB (2,14)	6,06 aA (1,08)
<i>E. schomburgkii</i>	4,77 bA (2,81)	2,79 cB (4,82)	0,35 dB (1,40)	0,75 dA (1,99)	4,92 bB (2,36)	6,44 aA (3,43)	4,86 bB (2,48)	6,13 aA (2,19)
<i>E. uncinatum</i>	2,49 dA (3,76)	1,79 dB (4,22)	1,20 bB (2,69)	1,30 bA (0,64)	3,76 cB (0,92)	5,98 bA (1,59)	3,91 cB (0,77)	5,85 bA (0,62)
<i>Q. paraensis</i>	3,44 cA (2,61)	3,31 bA (2,90)	1,53 aA (2,81)	1,41 aB (3,58)	3,86 cB (2,17)	4,48 cA (0,45)	4,07 cB (0,14)	4,60 cA (0,50)

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: C = cerne. A = alburno. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, para cada propriedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey entre espécies e pelo teste t entre tipo de lenho, a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

Quanto ao teor de extrativos totais, *E. uncinatum* apresentou os menores valores médios, tanto para o cerne (2,49%) quanto para o alburno (1,79%), enquanto *C. odorata* apresentou os maiores valores médios para ambos os tipos de lenho (5,58% - cerne e 4,94% - alburno). De modo geral, a madeira de cerne, de todas as espécies, apresentou maior quantidade de extrativos em relação ao alburno, o que era esperado, visto que a madeira de cerne contém maior quantidade de ácidos e compostos fenólicos, enquanto o alburno contém maior quantidade de amidos (BROWNING, 1963).

Considerando que o teor de extrativos na madeira pode variar de 2% a 10% para coníferas e de 1% a 5% para folhosas (BIERMANN, 1996) ou ainda de 8% a 18%

para espécies nativas brasileiras (MORI *et al.*, 2003), pode-se dizer que as espécies aqui avaliadas apresentaram de intermediário a baixo teor de extrativos. Como esses componentes podem influenciar diversos processos e o desempenho dos produtos, de modo geral, é preferível o uso de madeiras com baixos teores de extrativos (FONTE *et al.*, 2017). Contudo, espécies tropicais comumente apresentam teores de extrativos elevados, os quais, por outro lado, conferem maior resistência natural para a madeira contra o ataque de organismos xilófagos (SILVEIRA *et al.*, 2019; COSME Jr.; TURCHEN; GUEDES, 2020).

Em processos de colagem, como na produção de painéis, a eficiência pode ser comprometida devido a presença de extrativos, que são determinantes na definição do uso de uma madeira (ROWELL *et al.*, 2005; GONÇALVES; LELIS, 2012). Os componentes extraídos da madeira, como ceras, gorduras, resinas, fitoesteróis, hidrocarbonetos não-voláteis e carboidratos de baixo peso molecular (MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005), podem migrar para a superfície da madeira durante o processo de prensagem e prejudicar a ligação adesiva, devido a barreira química que podem formar (HUNT *et al.*, 2018). Apesar disso, espécies com teores de extrativos totais semelhantes e até ligeiramente superiores aos encontrados neste estudo têm apresentado resultados promissores em fabricações de painéis EGP com madeiras tropicais (ROJAS *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020; BILA *et al.*, 2021).

Os teores de cinzas de *Q. paraensis* foram estatisticamente superiores aos das demais espécies, tanto para o cerne (1,53%) quanto para o alburno (1,41%). Os menores valores médios foram apresentados por *E. schomburgkii*, para os dois tipos de lenho (0,35% - cerne e 0,75% - alburno). De modo geral, com exceção de *Q. paraensis*, as madeiras de alburno apresentaram maiores quantidades desses compostos inorgânicos. Isso se deve ao fato de o alburno apresentar maior atividade metabólica, o que implica na presença de maior quantidade de minerais neste lenho (BARCELLOS *et al.*, 2005).

De acordo com Albuquerque *et al.* (2020), o conteúdo de cinzas nas madeiras geralmente é inferior a 0,5%, enquanto Tsoumis (1991) diz que esse valor está na faixa de 0,1% a 5,4%, o que é mais compatível com os resultados comumente encontrados para madeiras tropicais nativas. O teor de cinzas não prejudica o desempenho da ligação adesiva diretamente, mas pode influenciar o pH ou a usinabilidade da madeira, levando ao desgaste excessivo de ferramentas de corte devido a presença de minerais como a sílica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). Assim,

considera-se que as espécies avaliadas neste estudo apresentaram baixos teores de cinzas, o que não deve prejudicar as diferentes etapas do processo de colagem.

Quanto ao potencial hidrogeniônico (pH), as madeiras de alburno apresentaram os maiores valores médios, tanto após 2 horas quanto após 24 horas. Após 2 horas *C. odorata* apresentou pH mais próximo ao neutro, com valores médios de 6,16 para cerne e 6,24 para alburno. Enquanto *E. uncinatum* (3,76 para cerne) e *Q. paraensis* (3,86 para cerne e 4,48 para alburno) apresentaram valores mais ácidos. O mesmo padrão foi mantido após 24 horas. Observou-se também que, no geral, espécies que apresentaram maior teor de extrativos (*C. odorata* e *E. schomburgkii*) também apresentaram maiores valores médios de pH.

Segundo Johns e Niazi (1980), o pH do alburno (entre 5 e 6) normalmente é mais alto que o do cerne (entre 3 e 4), e o seu valor depende dos tipos e quantidades de extrativos presentes na madeira. De modo geral, os valores médios encontrados para o pH das espécies avaliadas neste estudo estão de acordo com a literatura, na faixa de 3 a 6, variando conforme a espécie e tipo de lenho (STAMM, 1964; ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). De acordo com Kofman (2016), também existe uma relação entre o pH e o teor de cinzas, que varia em função do tipo e quantidade de materiais inorgânicos presentes na madeira. Complementarmente, Albuquerque *et al.* (2020) relatam que o pH dos extrativos presentes na madeira pode prejudicar o desempenho da colagem, pois pode inibir as reações químicas de endurecimento do adesivo, ou ainda, impedir a fluidez, umectação e penetração do adesivo e causar o seu pré-endurecimento.

Um baixo valor de pH em determinadas espécies pode dificultar o processo de colagem na fabricação de produtos de madeira (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; IWAKIRI, 2005). O pH da madeira desempenha um papel crucial em relação a todos os tipos de adesivos, visto que esta possui uma considerável capacidade tampão, podendo reagir com ácidos ou bases do sistema catalisado (IWAKIRI *et al.*, 2016). Contudo, os autores asseguram que essa influência é mais expressiva em prensagens a quente. Assim, dentre outros fatores, a definição do adesivo a ser utilizado no processo de colagem precisa levar em consideração o valor de pH da madeira que se está trabalhando (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JUNIOR, 2005).

2.3.3 Colorimetria

Os valores médios das variáveis cromáticas das madeiras de cerne e alborno de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* estão apresentados na TABELA 2.5. Houve diferença estatística para todas as variáveis cromáticas entre espécies e para a maioria entre tipo de lenho.

TABELA 2.5 – VARIÁVEIS CROMÁTICAS DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBORNÃO DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Lenho	Espécie			
	<i>C. odorata</i>	<i>E. schomburgkii</i>	<i>E. uncinatum</i>	<i>Q. paraensis</i>
L*				
C	64,12 aB (2,88)	59,40 cB (2,69)	53,90 dB (5,03)	61,75 bB (2,80)
A	67,75 bA (2,74)	73,60 aA (1,24)	64,80 cA (1,96)	68,73 bA (2,65)
a*				
C	11,90 bA (5,38)	10,68 cA (3,88)	13,17 aA (2,92)	12,67 abA (5,04)
A	9,17 aB (18,65)	6,65 bB (6,53)	6,93 bB (3,47)	6,17 bB (8,18)
b*				
C	23,46 bA (1,34)	28,36 aA (4,28)	20,06 cA (5,67)	23,74 bA (4,09)
A	22,55 bA (6,23)	27,34 aA (4,94)	19,93 cA (6,41)	23,20 bA (4,69)
C*				
C	26,31 bA (1,90)	30,31 aA (3,68)	24,00 cA (4,39)	26,92 bA (4,24)
A	24,38 bB (7,86)	28,14 aB (4,75)	21,11 cB (5,75)	24,01 bB (4,85)
h				
C	63,11 bB (1,27)	69,31 aB (1,69)	56,68 cB (2,39)	61,94 bB (0,73)
A	68,09 cA (3,80)	76,32 aA (1,27)	70,77 bA (1,80)	75,12 aA (0,93)

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: C = cerne; A = alborno; L* = luminosidade; a* = coordenada cromática verde-vermelho; b* = coordenada cromática azul-amarelo; C* = saturação ou cromaticidade; h = ângulo de matiz/tinta. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, para cada variável, não diferem entre si pelo teste t entre tipo de lenho e pelo teste de Tukey entre espécies, a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

A luminosidade foi maior para as madeiras de alborno, em relação ao cerne. *C. odorata* apresentou L* estatisticamente superior às demais espécies, e *E. uncinatum* o menor valor médio. Conforme a classificação de Camargos e Gonçalves

(2001), o cerne de *E. uncinatum* pode ser considerada uma madeira de cor escura ($L^* \leq 56$), enquanto as demais, assim como as madeiras de alburno, podem ser consideradas claras ($L^* > 56$). Moya *et al.* (2012) afirmam que a cor da madeira está relacionada ao seu conteúdo de extrativos. Os autores observaram o mesmo comportamento para L^* ao avaliarem madeiras de cerne e alburno de *Acacia mangium* e *Vochysia guatemalensis*, e atribuíram a diferença na cor do alburno ao menor teor de extrativos neste lenho para ambas as espécies. Especificamente para *V. guatemalensis* os autores verificaram que à medida que aumenta o teor de extrativos totais e fenólicos o parâmetro L^* diminui.

Para as coordenadas cromáticas a^* e b^* as madeiras de cerne apresentaram os maiores valores médios, contudo, para b^* não houve diferença estatística entre o tipo de lenho. A madeira de cerne de *E. uncinatum* apresentou o maior valor médio na coordenada vermelho-verde (a^*), enquanto *E. schomburgkii* apresentou o menor valor para essa variável. Já para a madeira de alburno, *C. odorata* apresentou o maior valor médio, enquanto para as demais espécies não houve diferença estatística entre si. Na coordenada amarelo-azul (b^*) *E. schomburgkii* apresentou os maiores valores médios para as madeiras de cerne e alburno. De acordo com Moya *et al.* (2012), diversos parâmetros de cor estão relacionados com o teor de extrativos totais em etanol-tolueno, sendo que o parâmetro a^* é mais elevado para maiores teores desses extrativos. Segundo Traoré, Kaal e Cortizas (2024), madeiras de alburno são caracterizadas por apresentarem valores mais baixos de a^* , enquanto madeiras de cerne apresentam valores mais altos para esta coordenada cromática. Os valores mais elevados de teor de extrativos para o cerne de todas as espécies, em relação ao alburno, corroboram esses estudos que afirmam que a cor da madeira está relacionada ao tipo e quantidade de extrativos. Valores positivos e crescentes para a coordenada a^* indicam coloração predominantemente avermelhada e valores maiores e positivos para b^* indicam predominância da cor amarela (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

As cromaticidades (C^*) das madeiras de cerne e alburno de *E. schomburgkii* foram estatisticamente superiores às demais espécies. As madeiras de cerne, de todas as espécies, apresentaram C^* superiores às de alburno. Quanto ao ângulo de tinta (h), as madeiras de alburno apresentaram valores médios estatisticamente superiores aos de cerne. *E. schomburgkii* apresentou os maiores valores médios para essa variável, tanto para cerne quanto alburno, enquanto *E. uncinatum* (cerne) e *C.*

odorata (alburno) apresentaram os menores valores médios. Madeiras de alburno são caracterizadas por apresentarem valores mais altos de h^* , enquanto madeiras de cerne apresentam valores mais baixos para esse parâmetro (TRAORÉ; KAAL; CORTIZAS, 2024). De acordo com Camargos e González (2001), a variável C^* é fortemente correlacionada com a coordenada cromática b^* , enquanto alterações na variável a^* refletem maiores mudanças em h^* . Atayde, González e Camargos (2011) explicam que as coordenadas a^* e b^* influenciam a C^* , que aumenta conforme essas duas variáveis aumentam. Assim, uma maior saturação da cor é observada quando há aumento nos pigmentos vermelho e amarelo (ATAYDE; GONÇALEZ; CAMARGOS, 2011).

A classificação das cores das madeiras de cerne e alburno de cada espécie é apresentada no QUADRO 2.1. Essa classificação foi realizada com base na proposta de Camargos e González (2001), utilizando os valores médios das variáveis cromáticas de cada tipo de lenho e espécie.

QUADRO 2.1 - CLASSIFICAÇÃO* DAS CORES DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécie	Cerne	Alburno
<i>C.odorata</i>	 Rosa	 Rosa-acinzentado
<i>E. schomburgkii</i>	 Marrom-oliva	 Oliva-amarelado
<i>E. uncinatum</i>	 Marrom-avermelhado	 Cinza-rosado
<i>Q. paraensis</i>	 Marrom-claro	 Oliva-amarelado

FONTE: A autora (2024).

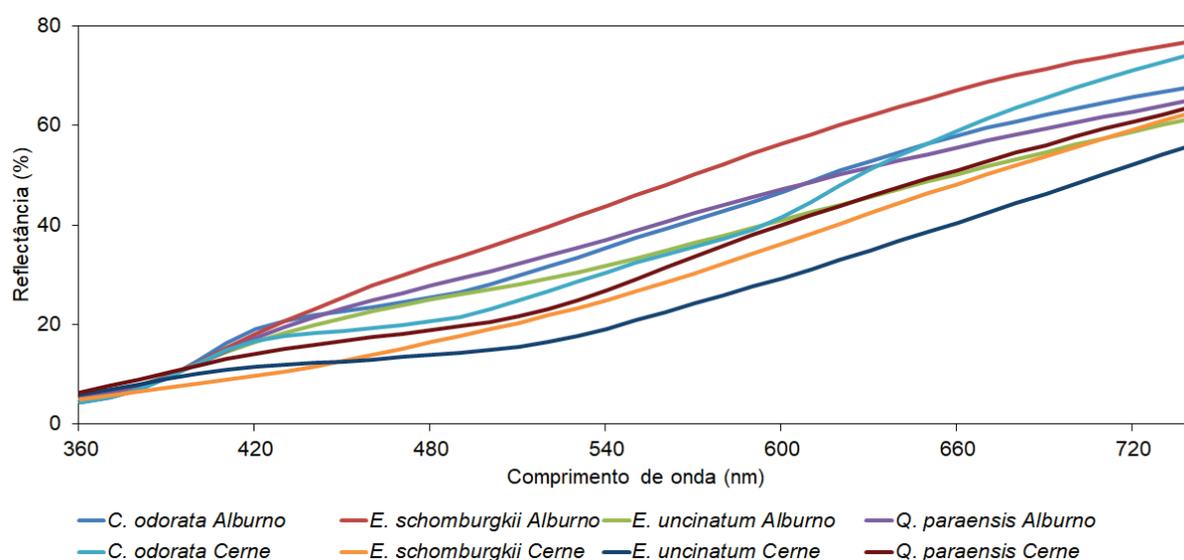
LEGENDA: *Classificação realizada com base em Camargos e Gonzalez (2001).

As madeiras de cerne apresentaram tons mais avermelhados, com as espécies *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* classificadas em variações de tons de marrons. Enquanto as cores dos albornos variaram de tons amarelados (*E. schomburgkii* e *Q. paraensis*) a tons rosados (*C. odorata* e *E. uncinatum*). Diferenças de cor entre madeiras de cerne e alburno normalmente são esperadas (MOYA *et al.*, 2012), e essas diferenças se devem à síntese e acúmulo de extrativos no cerne durante sua formação (TAYLOR *et al.*, 2002). As reações de oxidação e polimerização durante o processo de envelhecimento da árvore são responsáveis, em parte, pela

cor do cerne (GIERLINGER, 1984; MAGEL; JAY-ALLEMAND; ZEIGLER, 1994; BURTIN *et al.*, 1998; GIERLINGER *et al.*, 2004). A variação de cores em peças de madeira pode impactar positiva ou negativamente na estética do produto final, dependendo de sua aplicação e das preferências do consumidor (KLITZKE *et al.*, 2008).

As curvas espectrais das madeiras de cerne e alburno de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* são apresentadas na FIGURA 2.4 e são complementares aos resultados da TABELA 2.5. Notou-se que a madeira de alburno de *E. schomburgkii* apresentou a maior reflectância em relação às demais, enquanto a madeira de cerne de *E. uncinatum* apresentou reflectância inferior.

FIGURA 2.4 – ESPECTROS MÉDIOS NA REGIÃO DO VISÍVEL DAS MADEIRAS DE CERNE E ALBURNO DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*



FONTE: A autora (2024).

A maioria das espécies apresentou menores reflectâncias para as madeiras de cerne em relação ao alburno. Maior distinção de reflectância entre as espécies foi observada a partir do comprimento de onda de 480 nm. O comportamento da reflectância é relacionado à luminosidade das madeiras (MEDEIROS *et al.*, 2021). No presente estudo espécies e lenhos que apresentaram maiores valores de L^* refletiram maior quantidade de luz incidida. Esses resultados são compatíveis com Atayde, Gonzalez e Camargos (2011), que verificaram que a variação dos valores de reflectância estava relacionada a claridade das seções anatômicas de *Brosimum* sp. que avaliaram. A caracterização das tonalidades de cerne e alburno em madeiras não

apenas possibilita a classificação de lotes de acordo com as preferências dos clientes, mas também oferece aos designers a oportunidade de aplicar essas madeiras em composições de cores, considerando os tons desejados e as preferências de mercado (ATAYDE; GONÇALEZ; CAMARGOS, 2011; DZURENDA, 2024)

2.4 CONCLUSÕES

Os lenhos de cerne de todas as espécies apresentaram maior densidade em relação ao alburno. Considerando a densidade no teor de umidade usualmente adotado na colagem de painéis EGP (12%), *C. odorata* e *E. uncinatum* foram classificadas como madeiras de média densidade e *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* como pesadas.

A madeira de *C. odorata* foi considerada muito estável, *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* consideradas de média instabilidade e *E. uncinatum* muito instável.

Os lenhos de alburno de todas as espécies apresentaram menores percentuais de extrativos em relação ao cerne. O teor de extrativos foi baixo a intermediário.

Com exceção de *Q. paraensis*, o alburno apresentou maior teor de cinzas em relação ao cerne. O teor de cinzas foi baixo.

O pH do cerne foi menor para as madeiras de cerne em relação ao alburno, tanto após 2h quanto 24h. O cerne de *E. uncinatum* apresentou o pH mais ácido e o alburno de *E. schomburgkii* mais próximo ao neutro.

A cor do alburno foi mais clara em relação ao cerne para todas as espécies, variando de rosa-acinzentado (*C. odorata*) a cinza-rosado (*E. uncinatum*). A cor do cerne variou de rosa (*C. odorata*) a tons amarronzados (*E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis*).

As madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis*, provenientes de resíduos de serraria, apresentaram características físicas e químicas compatíveis para processos de colagem e podem ser consideradas potenciais para a produção de painéis EGP.

CAPÍTULO 3

USO DE RESÍDUOS DO DESDOBRO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS PARA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE (EGP)

RESUMO

A demanda por produtos sustentáveis à base de madeira e a necessidade de otimização dos recursos lignocelulósicos disponíveis vêm aumentando ao longo dos anos. Resíduos madeireiros provenientes do desdobro de espécies tropicais em serrarias têm sido subutilizados na Amazônia Sul Ocidental, sendo destinados majoritariamente para uso energético como lenha. Neste capítulo, foi investigado a adequação de resíduos de madeira sólida de quatro espécies tropicais amazônicas para a produção de painéis colados lateralmente. As espécies foram caracterizadas quanto às propriedades físico-químicas de suas madeiras. Emendas de topo do tipo *finger joint* e juntas coladas lateralmente foram confeccionadas individualmente por espécie utilizando os adesivos EPI e PVA. A qualidade das colagens foi avaliada de acordo com as normas americana e europeias correspondentes por meio dos ensaios de tração, flexão estática e de resistência da linha de cola ao cisalhamento. A partir dos resultados deste estudo, verificou-se que as madeiras apresentaram de baixa (*Cedrela odorata* e *Erismia uncinatum*) a média (*Enterolobium schomburgkii* e *Qualea paraensis*) densidades, a anisotropia de contração variou de baixa (*C. odorata*) a alta (*E. uncinatum*) e os teores de extrativos e cinzas e o pH estão de acordo com os valores normalmente encontrados em folhosas (4,25 a 6,06). As madeiras de todas as espécies avaliadas apresentaram desempenhos satisfatórios, atendendo aos requisitos de resistência da norma ASTM D 5572 para emendas de topo para uso seco. As madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* atenderam aos requisitos de resistência ao cisalhamento da norma EN 15353 para uso em condição seca quando coladas com adesivo EPI. Portanto, a produção de painéis EGP tem potencial para otimizar a utilização de resíduos do desdobro de madeiras tropicais na região amazônica.

Palavras-chave: Painéis de colagem lateral (EGP). Produtos de maior valor agregado (PMVA). Resíduos de serraria. Qualidade de colagem.

3.1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da madeira na Amazônia ainda opera predominantemente para a geração de produtos de baixo valor agregado (produtos brutos), apresentando grandes desperdícios em função das baixas taxas de conversão de toras em produtos (hoje entre 35-40%) (LENTINI; VERÍSSIMO; SOBRAL 2003; LENTINI *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2010; VALDIONES *et al.*, 2022), possivelmente motivada pela percepção da indústria madeireira regional de uma aparente abundância de matéria-prima (VALDIONES *et al.*, 2022), aliado à falta de investimentos em tecnologias que proporcionem maior eficiência no processamento da madeira nativa.

A demanda por materiais à base de madeira tem crescido continuamente, impulsionada pela necessidade de produtos renováveis e de baixa emissão de carbono, e, de uma utilização ótima dos recursos lignocelulósicos disponíveis (BLANCHET; BRETON, 2020; IEJAVS *et al.*, 2022). Somado a isso, a diminuição da disponibilidade e da qualidade dos recursos madeireiros aumentam expressivamente a importância da colagem de madeiras (IEJAVS *et al.*, 2022) e a necessidade de implementação de iniciativas focadas na agregação de valor aos resíduos e demais subprodutos gerados pela indústria, que comumente são subutilizados ou até mesmo não aproveitados (VALDIONES *et al.*, 2022).

Dentre os produtos de maior valor agregado, que podem ser produzidos a partir da colagem de madeiras, tem-se o painel colado lateralmente, ou *Edge Glued Panel* (EGP), que se caracteriza pela possibilidade de reaproveitamento de resíduos do processamento de serrarias (costaneiras e peças não conformes) no seu processo produtivo (TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020). As principais vantagens deste painel que o tornam uma iniciativa potencial para uso dos resíduos da indústria madeireira amazônica são: melhoria das taxas de conversão da madeira em tora para produtos, custos de maquinários baixos e processo produtivo mais simples em comparação com outras indústrias de painéis de madeira reconstituída (MDF, MDP e OSB, por exemplo) e o aspecto estético e decorativo proporcionado pelo uso de peças curtas e estreitas de madeira sólida.

Os trabalhos realizados até o momento acerca da qualidade de colagem em painéis EGP concentraram-se em investigar a adequação da madeira de espécies alternativas às tradicionalmente utilizadas, a variação e combinações de parâmetros de processo, a determinação de parâmetros ótimos de colagem para espécies

específicas e utilização de peças não conformes de madeiras já classificadas restantes de outros processos industriais (LOPES *et al.*, 2013; BILA *et al.*, 2016; ROJAS *et al.*, 2020; TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020; BILA *et al.*, 2021; IWAKIRI *et al.*, 2021; IEJAVS *et al.*, 2022). Contudo, o aproveitamento de resíduos, como costaneiras, aparas e sobras (BRASIL, 2016), uma matéria-prima de baixo valor, proveniente do desdobro de toras de espécies tropicais em serrarias, ainda constitui um desafio no que diz respeito a uma utilização mais eficiente e racional desse recurso, de características singulares, que tem sido historicamente subutilizado na região amazônica. Além disso, Valdiones *et al.* (2022) alertam que são escassas as iniciativas focadas na geração de produtos de alto valor agregado, como painéis de madeira por exemplo, usando esta matéria-prima tropical.

Assim, o painel EGP pode representar uma alternativa para otimização do uso de resíduos de madeira sólida de serraria, bem como proporcionar uma nova oportunidade de valorização desse recurso, além de contribuir para a redução das emissões de CO₂ pela indústria madeireira na região amazônica. Neste sentido, o objetivo deste capítulo foi investigar a adequação de resíduos do processo de desdobro de toras em serraria de quatro espécies de madeiras tropicais da Amazônia Sul Ocidental brasileira para a produção de painéis EGP, por meio da avaliação da qualidade de colagem de emendas de topo (*finger joint*) e juntas coladas lateralmente.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Procedência e coleta do material

Para o desenvolvimento deste capítulo, utilizou-se resíduos do desdobro (costaneiras, aparas e sobras) de serraria de madeiras das seguintes espécies amazônicas: *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erisma uncinatum* e *Qualea paraensis*. Esta matéria-prima foi proveniente de Plano de Manejo Florestal Sustentável e gentilmente doada pela empresa Rovermad, localizada no município de Alta Floresta D'Oeste-RO na Amazônia Sul Ocidental brasileira, nas coordenadas 11°55'52" S e 61°59'52" O, onde está em atividade há mais de 30 anos. A seleção dessas espécies para o estudo considerou o fato de serem as mais comercializadas na região, apresentarem maior volume em pátio e conseqüentemente gerarem maior volume de resíduos.

Foram coletados resíduos de cinco toras (ISO, 2019) de cada espécie, com diâmetro à altura do peito (1,30 m) médio geral de 55 cm e tempo médio de pátio de um ano e meio, os quais foram convertidos em sarrafos com dimensões nominais de seção transversal de 30 mm x 60 mm e comprimento de 400 mm e secos ao ar livre em local coberto por aproximadamente 90 dias (FIGURA 3.1).

FIGURA 3.1 – PROCESSAMENTO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA EM SARRAFOS



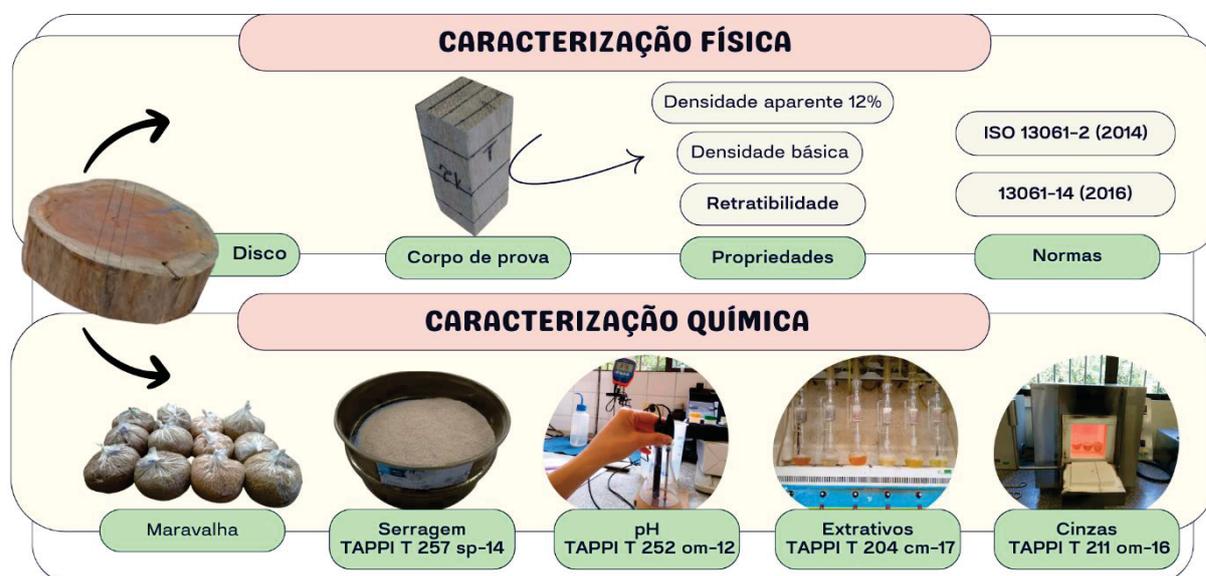
FONTE: A autora (2024).

Discos basais com 150 mm de espessura foram retirados de três árvores de cada espécie para a caracterização física e química das madeiras. Esse material foi então transportado até o Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, onde foi realizada toda a parte experimental do estudo.

3.2.2 Caracterização físico-química

A determinação das propriedades físicas (densidade básica, densidade aparente 12% e anisotropia de contração) foi realizada utilizando-se corpos de prova (*C. odorata* - 92, *E. schomburgkii* - 103, *E. uncinatum* - 130 e *Q. paraensis* - 82) de 20 mm x 20 mm x 50 mm retirados dos discos, e seguiu os procedimentos especificados nas normas ISO 13061-2 (ISO, 2014) e 13061-14 (ISO, 2016). Do material restante dos discos foram retiradas maravalhas, com auxílio de uma plaina desempenadeira, que foram convertidas em serragem e as amostras foram preparadas de acordo com a norma TAPPI T 257 sp-14 (TAPPI, 2014), em três repetições, para a determinação das propriedades químicas. O pH foi determinado de acordo com a norma TAPPI T 252 om-12 (TAPPI, 2012), o teor de extrativos totais conforme a norma TAPPI T 204 cm-17 (TAPPI, 2017) e o teor de cinzas segundo a norma TAPPI T 211 om-16 (TAPPI, 2016) (FIGURA 3.2).

FIGURA 3.2 – RESUMO ESQUEMÁTICO DA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS



FONTE: A autora (2024).

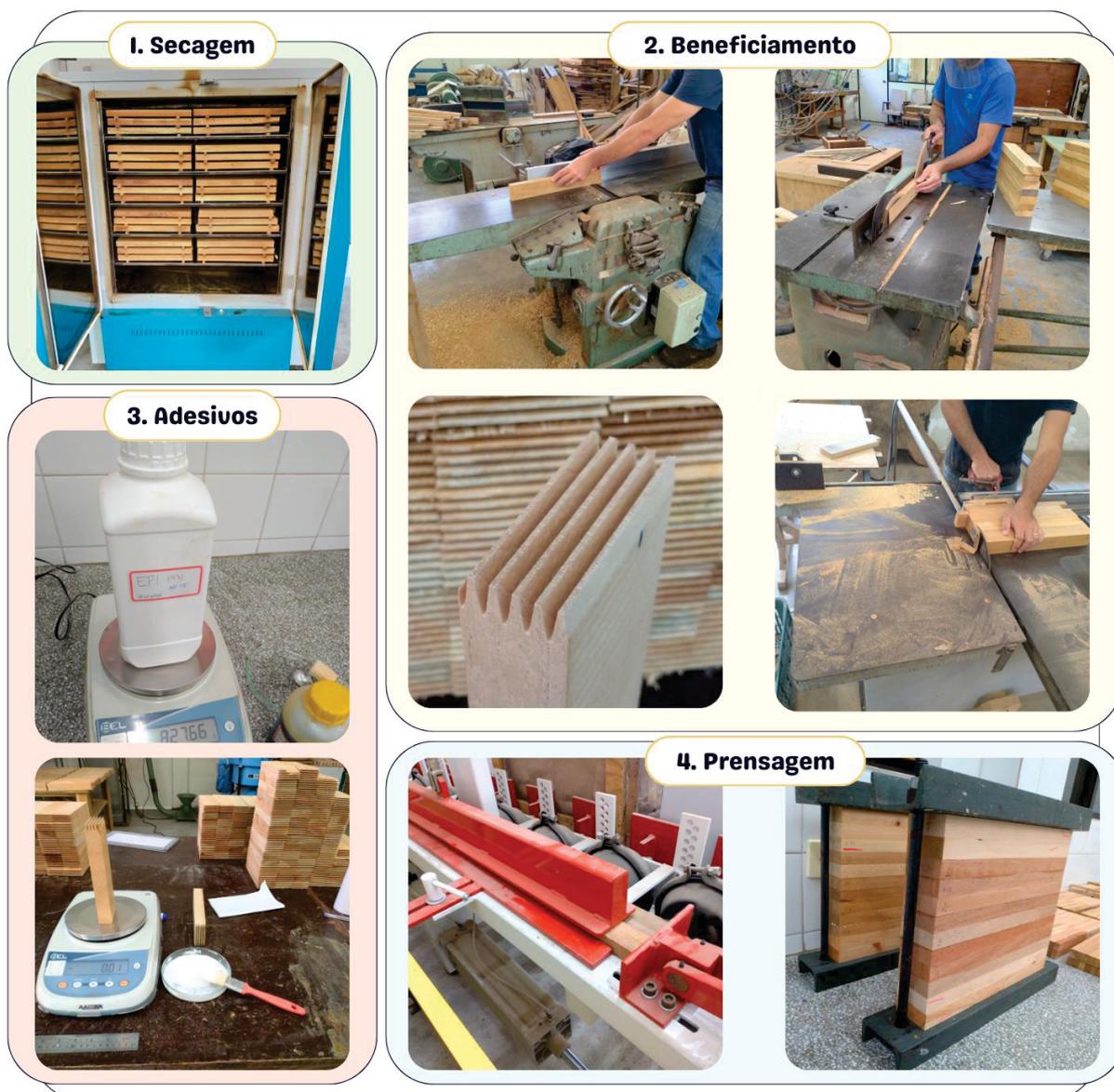
3.2.3 Preparo dos sarrafos e processo de colagem

Os sarrafos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C até atingirem o teor de umidade médio de 12% e em seguida beneficiados com as dimensões finais de seção transversal de 22 mm x 55 mm e comprimento de 310 mm

para a colagem lateral, e de 25 mm x 55 mm e comprimento de 200 mm para a colagem de topo. Sendo esses últimos também usinados no topo com fresagem do tipo *finger joints*. Foram selecionados aleatoriamente um total de 64 sarrafos livres de defeitos de cada espécie de madeira para a confecção das emendas de topo e 32 para a produção das juntas coladas lateralmente.

Foram utilizados dois adesivos para a colagem lateral: poliacetato de vinila (PVA D3) Henkel e emulsão polimérica de isocianato (EPI) Akzo Nobel 1971 com endurecedor 1999 na proporção de 100:15 (com base na porcentagem em peso), nas gramaturas de 140 g.m⁻² e 180 g.m⁻². Os adesivos foram aplicados com pincel sobre uma das faces dos sarrafos que foram colados aos pares sob uma pressão específica de 0,8 MPa por 60 minutos, com quatro repetições (juntas coladas) para cada tratamento. Para a colagem de topo foi utilizado apenas o adesivo PVA, aplicado com pincel até a metade dos dentes na gramatura de 180 g.m⁻² (comumente utilizado nas indústrias) em linha de cola simples. As emendas de topo foram unidas aos pares a uma pressão de 0,3 MPa por 30 segundos, com 32 repetições para cada tratamento. Um resumo visual do processo de preparo dos sarrafos e colagem é apresentado na FIGURA 3.3.

FIGURA 3.3 – PROCESSO DE PREPARO DOS SARRAFOS E COLAGEM



FONTE: A autora (2024).

Para a colagem de topo foi utilizado apenas o fator espécies como tratamento qualitativo (TABELA 3.1). Para a colagem lateral foi realizado um delineamento em arranjo fatorial ($4 \times 2 \times 2$) com 16 tratamentos, sendo as fontes de variação: espécies (*C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis*), adesivos (EPI e PVA) e gramaturas (140 g.m^{-2} e 180 g.m^{-2}) (TABELA 3.2).

TABELA 3.1 - TRATAMENTO (ESPÉCIES) UTILIZADO NA COLAGEM DE TOPO

Espécies	Adesivo	Gramatura (g.m⁻²)
<i>C. odorata</i>		
<i>E. schomburgkii</i>	PVA	180
<i>E. uncinatum</i>		
<i>Q. paraensis</i>		

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: PVA = Poliacetato de vinila.

TABELA 3.2 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL (ESPÉCIES, ADESIVO E GRAMATURA) UTILIZADO NA COLAGEM LATERAL

Espécies	Adesivo	Gramatura (g.m⁻²)
<i>C. odorata</i>	EPI	140
		180
	PVA	140
		180
<i>E. schomburgkii</i>	EPI	140
		180
	PVA	140
		180
<i>E. uncinatum</i>	EPI	140
		180
	PVA	140
		180
<i>Q. paraensis</i>	EPI	140
		180
	PVA	140
		180

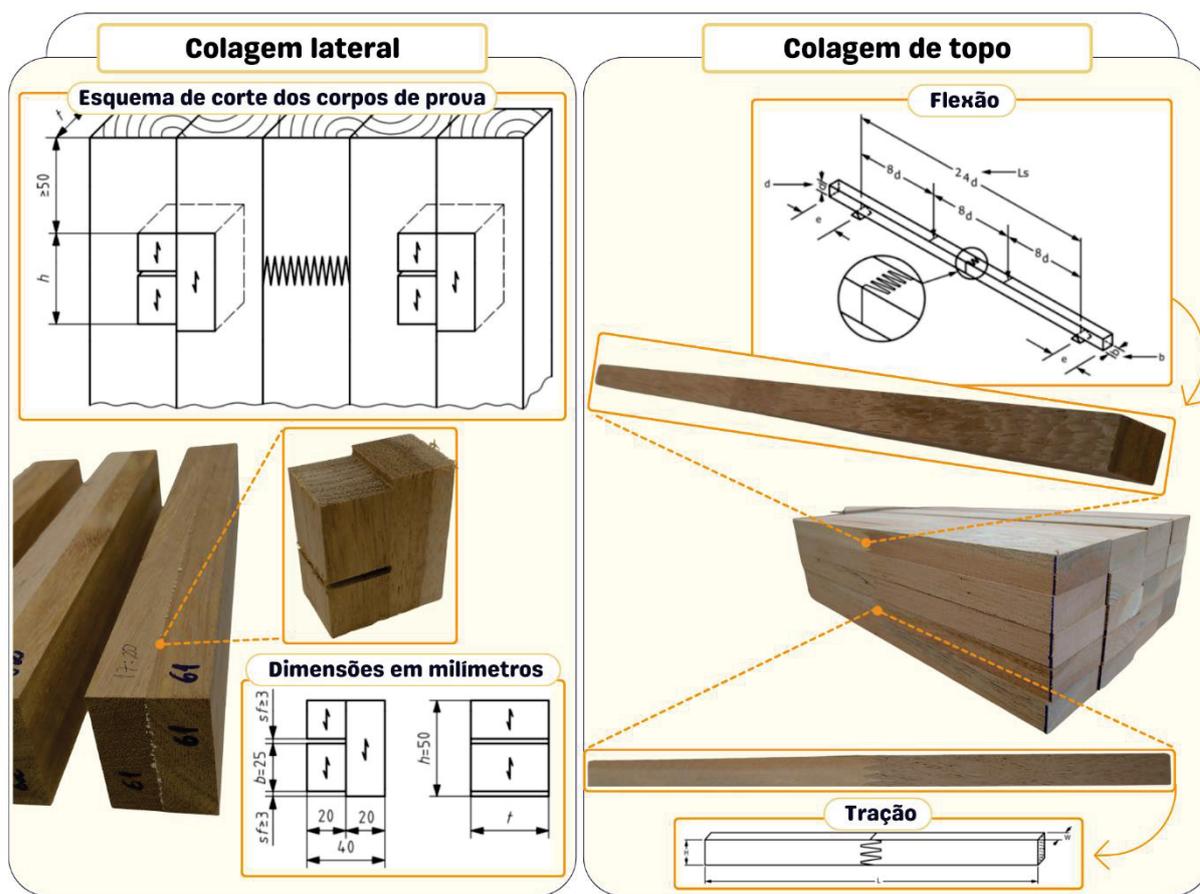
FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: EPI = Emulsão Polimérica de Isocianato. PVA = Poliacetato de vinila.

3.2.4 Avaliação da qualidade das colagens

Após a cura do adesivo e estabilização das peças coladas, foram confeccionados corpos de prova a partir das emendas de topo e das juntas coladas lateralmente conforme as especificações descritas nas normas ASTM D 5572 (ASTM, 2019) e normas EN 13354 (EN, 2008a), respectivamente (FIGURA 3.4).

FIGURA 3.4 – CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS DE ACORDO COM AS NORMAS ASTM D 5572 (COLAGEM DE TOPO) E EN 13354 (COLAGEM LATERAL)



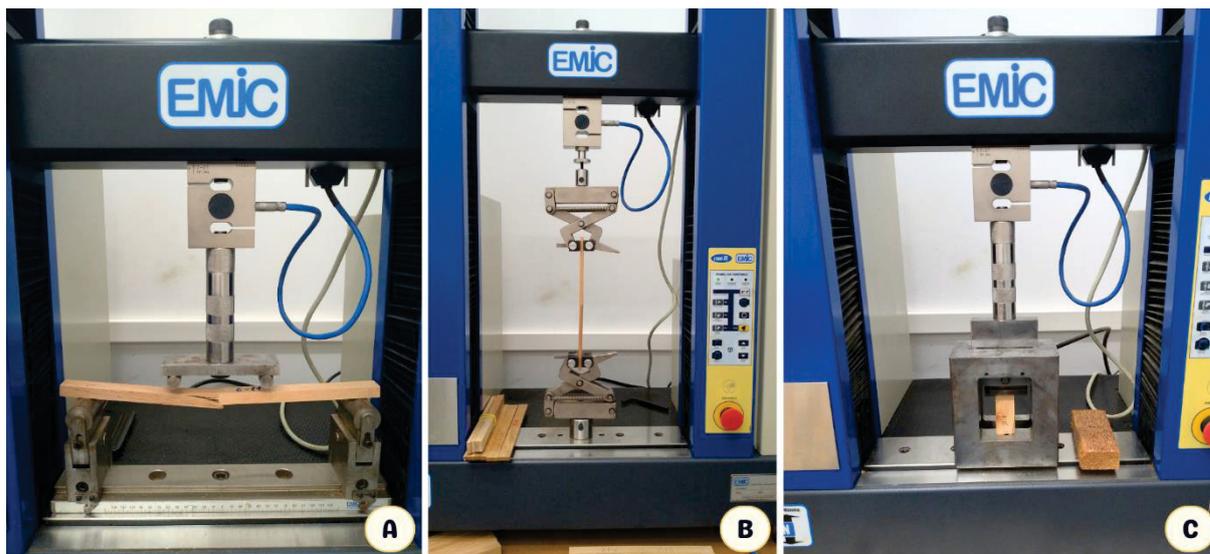
FONTE: EN (2008a); ASTM (2019); A autora (2024).

LEGENDA: Corpo de prova de cisalhamento: t = espessura do painel; h = altura da peça de teste: 50 mm; b = largura de colagem: 25 mm; sf = largura dos cortes da serra (≥ 3 mm). Corpo de prova de flexão: $L_s = 307,2$ mm; $b = 19,2$ mm; $d = 12,8$ mm; e = é a dimensão estendida do comprimento da montagem que fica fora dos pontos de reação. Corpo de prova de tração: $L = 254,0$ mm; $H = 19,05$ mm; $W = 6,35$ mm.

Para a colagem de topo foram testados 20 corpos de prova no ensaio de flexão estática e 12 no ensaio de tração paralela para cada tratamento em cada pré-tratamento estabelecido pela norma técnica para uso em condições secas: seco (climatizados à temperatura de 20 ± 3 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$), alta temperatura (após exposição por 6 horas à temperatura de 104 ± 3 °C) e ciclo triplo (após repetido por três ciclos o procedimento: imersão em água à temperatura de 19 a 27 °C por 4 horas, seguido de secagem em estufa à temperatura de 41 ± 3 °C por 19 horas). Para a colagem lateral foram testados 20 corpos de prova no ensaio de resistência da linha de cola ao cisalhamento (RLC) para cada tratamento em cada

condição: seco (climatizados à temperatura de 20 ± 3 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$) e úmido (após 24 horas de imersão em água à temperatura de 20 ± 3 °C). Os ensaios foram realizados em máquina universal de ensaios (EMIC DL-2000), com capacidade de 20kN (FIGURA 3.5).

FIGURA 3.5 – ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA (A), TRAÇÃO PARALELA (B) E CISALHAMENTO (C)



FONTE: A autora (2024).

Os resultados foram comparados com os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas ASTM D 5572 (ASTM, 2019) e EN 13353 (EN, 2008b). Após os ensaios de RLC e tração paralela foram avaliadas as percentagens de falhas na madeira na superfície de ruptura da linha de cola. Para a colagem lateral foi ainda calculado o 5º percentil inferior conforme a norma EN 326-1 (EN, 1994).

3.2.5 Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. A normalidade dos dados e homogeneidade de variâncias foram previamente verificadas para todos os grupos pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Nos casos em que esses pressupostos foram violados e as transformações dos dados não os satisfizeram (densidade básica, densidade aparente 12% e anisotropia de contração) foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, correspondente não paramétrico da ANOVA *one way*, seguido pelo teste post-hoc de Dunn com valor de p ajustado por Bonferroni

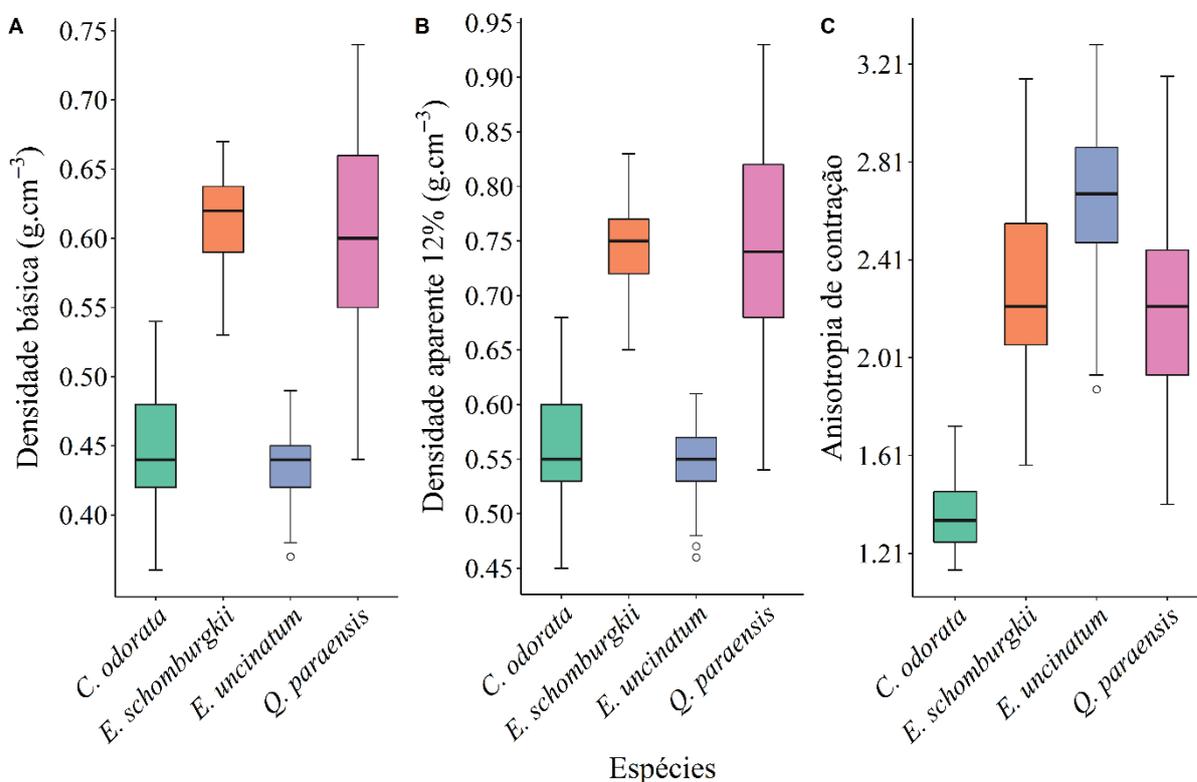
para comparações múltiplas. Quando aplicável, os dados foram corrigidos por transformação de raiz quadrada (RLC - úmido) e Box-Cox (flexão - ciclo triplo e tração - seco). Os dados transformados foram utilizados nas análises estatísticas e as médias dessas variáveis apresentadas em sua forma original. As propriedades químicas, flexão estática e tração paralela nas emendas de topo foram analisadas por ANOVA *one-way* para testar o efeito das espécies, enquanto a RLC na colagem lateral por ANOVA *two-way* para testar os efeitos de espécies, adesivos, gramaturas e suas interações, separadamente para cada condição (pré-tratamento). Quando significativo pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste *post-hoc* de Tukey e apresentadas juntamente com o coeficiente de variação. O teste de Tukey também foi realizado para comparação de médias geral da RLC entre os adesivos e gramaturas para cada espécie em cada condição. A percentagem de falha na madeira foi apresentada apenas pela média, sem análise estatística. Todas as análises foram realizadas nos softwares R, versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2021) usando RStudio v. 1.3.959 e SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011). O nível de significância adotado em todas as análises foi $p < 0,05$.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Propriedades físicas e químicas

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que houve diferenças estatísticas significativas para a densidade básica ($X^2_{(3)} = 281,50$; $p < 0,001$), densidade aparente 12% ($X^2_{(3)} = 277,19$; $p < 0,001$) e anisotropia de contração ($X^2_{(3)} = 259,22$; $p < 0,001$) entre as espécies. O *post-hoc* de Dunn mostrou que as densidades básicas e aparentes a 12%, respectivamente, de *E. uncinatum* (0,44 g.cm⁻³ e 0,03, mediana e amplitude interquartil; 0,55 g.cm⁻³ e 0,04) e de *C. odorata* (0,44 g.cm⁻³ e 0,06; 0,55 g.cm⁻³ e 0,07) foram inferiores às de *Q. paraensis* (0,60 g.cm⁻³ e 0,11; 0,74 g.cm⁻³ e 0,14) e *E. schomburgkii* (0,62 g.cm⁻³ e 0,05; 0,75 g.cm⁻³ e 0,05), e não houve diferença entre os pares de espécies (FIGURA 3.6).

FIGURA 3.6 - BOXPLOTS PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*. (A) DENSIDADE BÁSICA. (B) DENSIDADE APARENTE A 12% DE UMIDADE. (C) ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO



FONTE: A autora (2024).

Segundo a classificação de densidade da madeira do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) *C. odorata* e *E. uncinatum* são consideradas como madeira leve e *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* como madeira moderadamente pesada (MAINIERI; CHIMELO, 1989). Trianoski, Iwakiri e Bonduelle (2020) ressaltam que no Brasil as espécies mais utilizadas para a produção de painéis EGP são as de baixa a média densidade.

Madeiras com baixa densidade são mais bem umectadas por adesivos e menores tensões tendem a ser exigidas da linha de cola em relação a performance de ligação adesiva, o que implica em maior facilidade de colagem (HUNT *et al.*, 2018; ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). Em contrapartida, madeiras mais pesadas geralmente não são muito indicadas para a produção de painéis EGP pela tendência de apresentarem resistência da linha de cola enfraquecida (TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020).

A anisotropia de contração de *E. uncinatum* (2,68 e 0,39) e de *C. odorata* (1,34 e 0,21) foi estatisticamente diferente de *Q. paraensis* (2,22 e 0,51) e de *E. schomburgkii* (2,22 e 0,50), sendo que as duas primeiras espécies também foram

diferentes entre si. Conforme avaliação de qualidade da madeira segundo o coeficiente de anisotropia proposta por Klitzke (2007), *C. odorata* caracteriza-se como madeira muito estável, *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* como média instabilidade e *E. uncinatum* como madeira muito instável.

A alteração dimensional da madeira está relacionada com a densidade e mudanças no teor de umidade, de modo que as maiores alterações dimensionais geralmente são apresentadas por madeiras com alta densidade, o que resulta em maiores tensões na linha de cola afetando a performance da ligação adesiva (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). Apesar disso, verificou-se que *E. uncinatum* apresentou maior anisotropia, mesmo com baixa densidade, o que neste caso possivelmente está relacionado ao fato desta espécie possuir maior proporção de alborno em relação às demais. Não obstante, os efeitos negativos da alta anisotropia podem ser minimizados por meio da colagem aleatória de sarrafos e uso de peças de madeira de menores dimensões na produção de painéis EGP (TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020).

Houve diferenças estatisticamente significativas quanto às propriedades químicas das madeiras entre as espécies (TABELA 3.3). O teor de extrativos foi maior para *C. odorata* e menor para *E. uncinatum*; *Q. paraensis* e *E. schomburgkii* apresentaram o maior e o menor teor de cinzas, respectivamente; e *C. odorata* apresentou o maior pH enquanto *Q. paraensis* apresentou o menor valor para essa variável.

TABELA 3.3 - VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécies	Extrativos totais*	Cinzas*	pH*
	%		
<i>C. odorata</i>	5,26 a (7,43)	0,91 c (8,54)	6,06 a (3,01)
<i>E. schomburgkii</i>	3,78 b (28,82)	0,55 d (40,53)	5,59 b (13,43)
<i>E. uncinatum</i>	2,14 d (18,25)	1,25 b (4,60)	4,88 c (22,37)
<i>Q. paraensis</i>	3,38 c (3,21)	1,47 a (5,32)	4,25 d (7,36)

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: * = significativo pelo teste F ($p < 0,05$). Médias seguidas pelas mesmas letras, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

Os extrativos são conhecidos por influenciar a qualidade da colagem de madeiras por meio de interações químicas com o adesivo, podendo alterar sua viscosidade e afetar a profundidade de penetração, o que prejudica a ancoragem (ÖZPARPUCU *et al.*, 2022). Além disso, os extrativos também podem influenciar esse processo através de seu valor de pH e capacidade de tamponamento, podendo interferir na velocidade de cura e causar uma interfase adesiva fraca (ROFFAEL 2016; HUNT *et al.*, 2018).

Quanto ao teor de cinzas, Albuquerque *et al.* (2020) explicam que se refere ao conteúdo de minerais, como a sílica por exemplo, que pode levar ao desgaste excessivo das ferramentas de corte durante os processos de usinagem antes e após a colagem, o que se caracteriza como um efeito indireto desta propriedade na performance da ligação adesiva. Conforme Hunt *et al.* (2018), as propriedades da madeira variam não apenas entre espécies, mas também dentro da árvore e influenciam conjuntamente na formação da ligação principalmente através de: a) fluxo adesivo (densidade, porosidade, anisotropia e ângulo de grã), b) umectação (química da superfície e extrativos) e c) taxa e extensão da cura adesiva (teor de umidade da madeira, pH, capacidade de tamponamento e extrativos).

3.3.2 Resistência das emendas de topo (*finger joints*)

Os resultados médios de flexão estática e tração paralela das emendas de topo foram estatisticamente diferentes apenas nos pré-tratamentos seco e ciclo triplo (TABELA 3.4). O pré-tratamento alta temperatura, no geral, apresentou resistência inferior em relação aos demais para todas as espécies, tanto para flexão estática quanto para tração paralela.

TABELA 3.4 - RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E TRAÇÃO PARALELA DAS EMENDAS DE TOPO, COLADAS COM ADESIVO PVA NA GRAMATURA DE 180 g.m⁻², PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Pré-tratamentos	Espécies	Flexão	Tração	FM
		(MPa)		(%)
Seco*	<i>C. odorata</i>	48,43 a (10,77)	22,90 ab (11,93)	37
	<i>E. schomburgkii</i>	53,17 a (11,99)	26,58 a (28,32)	12
	<i>E. uncinatum</i>	36,53 b (20,42)	20,34 b (22,73)	62
	<i>Q. paraensis</i>	53,61 a (15,89)	22,42 ab (14,65)	31
Alta temperatura ^{n.s.}	<i>C. odorata</i>	29,84 a (38,19)	29,62 a (39,92)	31
	<i>E. schomburgkii</i>	29,32 a (35,11)	31,10 a (28,91)	26
	<i>E. uncinatum</i>	31,10 a (32,37)	20,99 a (26,91)	70
	<i>Q. paraensis</i>	33,39 a (38,37)	26,90 a (29,88)	33
Ciclo triplo*	<i>C. odorata</i>	52,63 a (9,84)	29,63 ab (23,61)	28
	<i>E. schomburgkii</i>	55,29 a (14,03)	34,53 a (21,77)	13
	<i>E. uncinatum</i>	37,70 b (28,44)	22,29 b (28,24)	58
	<i>Q. paraensis</i>	56,23 a (12,10)	33,47 a (20,72)	26

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: * = significativo pelo teste F ($p < 0,05$). ^{n.s.}= não significativo. FM = falha na madeira. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna em cada pré-tratamento são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

No ensaio de flexão estática *C. odorata*, *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* apresentaram resistências estatisticamente iguais entre si, mas superiores a *E. uncinatum*, tanto no pré-tratamento seco quanto no ciclo triplo. Os resultados obtidos neste ensaio, para todas as espécies nos dois pré-tratamentos, atenderam com folga aos requisitos mínimos da norma ASTM D 5572 (ASTM, 2019), cujos valores de referência são 13,8 MPa (seco) e 6,9 MPa (ciclo triplo). Apesar de não haver valor de referência para resistência no pré-tratamento alta temperatura, cabe notar que todas

as espécies avaliadas apresentaram resistências de 4,2 a 4,8 vezes superiores ao requisito do pré-tratamento que simula a condição mais drástica de exposição do produto colado (ciclo triplo), o que, juntamente com os achados citados anteriormente, evidencia a adequação dos resíduos de madeira sólida destas espécies para produção de emendas de topo do tipo *finger joint*.

Para uma espécie de eucalipto, Iwakiri *et al.* (2021), também utilizando o adesivo PVA D3 na gramatura de 180 g.m⁻², obtiveram resistências a flexão estática das emendas de topo de 48,89 MPa, 41,31 MPa e 11,44 MPa nos pré-tratamentos seco, alta temperatura e ciclo triplo, respectivamente. Enquanto Bila *et al.* (2021), ao avaliar duas espécies tropicais moçambicanas, também utilizando o adesivo PVA D3, mas na gramatura de 120 g.m⁻², encontraram valores médios de flexão estática de 39,1 MPa e 36,4 MPa (seco), 22,9 MPa e 24,1 MPa (alta temperatura) e 31,1 MPa e 25,9 MPa (ciclo triplo) para *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*, respectivamente.

Quanto ao ensaio de tração paralela, no pré-tratamento seco apenas *E. schomburgkii* e *E. uncinatum* apresentaram resistências estatisticamente diferentes entre si, sendo o maior e o menor valor médio observado, respectivamente. No pré-tratamento ciclo triplo *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* foram estatisticamente iguais entre si e superiores a *E. uncinatum*, que também apresentou o menor valor médio de resistência no ensaio. Todas as espécies atenderam aos requisitos mínimos de resistência neste ensaio (seco: >13,8 MPa e >30% de falha; ciclo triplo e alta temperatura: >6,9 MPa e >15% de falha) em todos os pré-tratamentos (ASTM, 2019). O percentual mínimo de falha na madeira neste ensaio não foi alcançado apenas por *E. schomburgkii* nos pré-tratamentos seco e ciclo triplo, o que não desqualifica a madeira da espécie, considerando que a mesma atendeu ao requisito da resistência, apresentando valor médio de duas (seco) a cinco (ciclo triplo) vezes superior ao exigido pela norma.

Na mesma avaliação das duas espécies tropicais moçambicanas Bila *et al.* (2021) encontraram valores médios de tração paralela de 30,8 MPa e 29,3 MPa (seco), 30,6 MPa e 28,6 MPa (alta temperatura) e 21,2 MPa e 21,3 MPa (ciclo triplo) para *B. spiciformis* e *J. globiflora*, respectivamente, e uma falha média na madeira de 7% a 22%. Enquanto Iwakiri *et al.* (2021) obtiveram para *Eucalyptus badjensis* 26,78 MPa, 24,85 MPa e 19,88 MPa nos pré-tratamentos seco, alta temperatura e ciclo triplo, respectivamente, com uma falha média na madeira de 25% a 97%.

De modo geral, as diferenças nos valores de resistência nas emendas de topo observadas em relação aos relatados na literatura eram esperadas, visto que esta variável sofre influência de vários fatores, como das propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira, que variam até mesmo dentro da mesma árvore, além das variáveis de processo, como adesivo, gramatura, pressão, tempo de prensagem, dentre vários outros. Logo, reforça-se o potencial e adequação dos resíduos das madeiras dessas espécies para a produção de emendas de topo do tipo *finger joint*.

3.3.3 Resistência ao cisalhamento das juntas coladas lateralmente

As RLC diferiram estatisticamente entre os tratamentos de adesivos e gramaturas para todas as espécies avaliadas nas duas condições (TABELA 3.5). A norma EN 13353 (EN, 2008b) determina que o 5º percentil inferior da resistência ao cisalhamento deve ser igual ou superior a 2,5 MPa e que a falha na madeira deve ser superior a 40% (exceto se a densidade da madeira for maior que 0,60 g.cm⁻³) para a qualidade de colagem ser considerada adequada.

Na condição seca tanto EPI quanto PVA atenderam ao requisito mínimo do 5º percentil inferior em todas as gramaturas para todas as espécies. Sendo que para *C. odorata* e *E. uncinatum* a gramatura de 180 g.m⁻² (para os dois adesivos) proporcionou os maiores valores de RLC enquanto para *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* o adesivo EPI (140 g.m⁻² e 180 g.m⁻²) resultou em maiores valores médios de RLC. Quanto à falha na madeira, não atenderam ao requisito mínimo os seguintes tratamentos: *C. odorata* (EPI 140), *E. schomburgkii* (EPI 140 e PVA 140 e 180), *E. uncinatum* (PVA 140) e *Q. paraensis* (PVA 140 e 180).

Uma exceção é feita quanto ao requisito do percentual de falha na madeira, que não se aplica quando a madeira apresenta uma densidade superior a 0,60 g.cm⁻³ (EN, 2008b). Diante disso e com base apenas no 5º percentil inferior, os resultados de RLC na condição seca de *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* também podem ser considerados satisfatórios para os dois adesivos e gramaturas utilizados neste estudo na condição seca.

No pré-tratamento úmido verificou-se que o adesivo EPI foi o que atendeu ao requisito mínimo do 5º percentil inferior para todas as espécies, exceto na gramatura de 140 g.m⁻² para *Q. paraensis*. O PVA atendeu o requisito mínimo apenas na

gramatura de 180 g.m⁻² para *C. odorata*. Com relação à falha na madeira, apenas o tratamento EPI 180 atendeu o requisito mínimo para *C. odorata* e *E. uncinatum*.

TABELA 3.5 - MÉDIAS GERAIS DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO (RLC) PARA *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécies	Tratamentos	Seco			Úmido		
		RLC	5° PI	FM	RLC	5° PI	FM
		(MPa)	(%)	(%)	(MPa)	(%)	(%)
<i>C. odorata</i> *	EPI 140	7,96 b (20,61)	5,83	36	5,66 b (27,64)	3,77	21
	EPI 180	9,81 a (5,14)	9,16	85	7,87 a (7,52)	6,93	61
	PVA 140	8,81 ab (14,30)	7,30	51	3,31 c (20,74)	2,40	2
	PVA 180	9,89 a (7,64)	9,12	88	4,94 b (6,67)	4,57	9
<i>E. schomburgkii</i> *	EPI 140	13,38 b (8,08)	11,78	38	8,38 b (25,61)	5,16	9
	EPI 180	16,48 a (5,96)	15,21	53	10,62 a (8,11)	9,54	18
	PVA 140	9,81 c (13,89)	7,71	9	2,18 c (35,99)	1,41	0
	PVA 180	10,13 c (12,21)	8,91	10	3,09 c (35,76)	1,55	1
<i>E. uncinatum</i> *	EPI 140	9,69 a (8,19)	8,57	77	5,88 a (18,64)	4,17	29
	EPI 180	10,02 a (6,87)	9,37	75	6,29 a (11,25)	5,49	56
	PVA 140	8,21 b (16,39)	6,39	39	0,89 c (33,27)	0,57	0
	PVA 180	9,44 a (5,01)	8,97	79	2,21 b (11,79)	1,93	1
<i>Q. paraensis</i> *	EPI 140	14,33 b (7,66)	13,00	60	2,31 b (23,95)	1,71	3
	EPI 180	16,27 a (6,20)	14,83	71	5,69 a (15,92)	4,70	3
	PVA 140	10,93 c (13,86)	8,71	24	1,32 c (8,76)	1,18	0
	PVA 180	11,42 c (12,75)	9,58	24	2,12 bc (38,17)	1,20	1

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: * = significativo pelo teste F ($p < 0,05$). 5° PI = quinto percentil inferior. FM = falha na madeira. Negrito = valores que atingiram o requisito da norma EN 13353 (EN, 2008). Médias seguidas

de mesma letra na mesma coluna para cada espécie são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

A análise de variância mostrou efeitos significativos para todos os fatores isolados (espécie, adesivo e gramatura) (TABELA 3.6). Houve também interação significativa entre espécie e adesivo, sendo, portanto, apenas esse efeito avaliado nos desdobramentos a seguir.

TABELA 3.6 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO (RLC) NOS DOIS PRÉ-TRATAMENTOS AVALIADOS, MOSTRANDO SUA SIGNIFICÂNCIA E O QUADRADO MÉDIO (QM) DE CADA FONTE DE VARIAÇÃO

Fonte de variação	GL	QM	
		RLC (Seco)	RLC (Úmido)
(MPa)			
Espécie (E)	3	63,33**	1,30**
Adesivo (A)	1	80,39**	13,35**
Gramatura (G)	1	18,05*	1,46**
E x A	3	24,01**	0,41*
E x G	3	3,58 ^{ns}	0,14 ^{ns}
A x G	1	3,22 ^{ns}	0,03 ^{ns}
E x A x G	3	4,46 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Resíduos	48	3,21	0,12
Médias		9,54	1,82
CV (%)		18,78	18,89

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: ** = Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade. * = significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo. Negrito = interação em que o efeito foi avaliado por meio do teste de Tukey.

Na condição seca todas as espécies atenderam ao requisito do 5º percentil inferior, tanto para o adesivo EPI quanto para o PVA (TABELA 3.7). Apenas *Q. paraensis* e *E. schomburgkii* não atenderam ao requisito mínimo da falha na madeira quando coladas com o adesivo PVA. Apesar disso, essas duas espécies apresentaram os maiores valores médios de RLC tanto para EPI quanto para PVA. Contudo, o valor médio de RLC das juntas de *E. schomburgkii* coladas com PVA não diferiu estatisticamente de *E. uncinatum* e *C. odorata*.

No pré-tratamento úmido todas as espécies quando coladas com o adesivo EPI atenderam ao requisito mínimo do 5º percentil inferior. Nenhuma espécie (tanto com EPI quanto com PVA) satisfaz o requisito de falha na madeira neste pré-

tratamento, apesar de os maiores percentuais médios terem sido observados para *E. uncinatum* e *C. odorata* coladas com EPI.

TABELA 3.7 - DESDOBRAMENTO DE ESPÉCIE DENTRO DE CADA NÍVEL DE ADESIVO PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO

Tratamentos	Seco			Úmido		
	RLC	5° PI	FM	RLC	5° PI	FM
	(MPa)	(%)	(%)	(MPa)	(%)	(%)
EPI						
<i>C. odorata</i>	7,52 b (20,52)	5,98	52	5,49 ab (28,07)	3,36	31
<i>E. schomburgkii</i>	13,24 a (14,40)	10,80	41	7,18 a (36,11)	3,27	12
<i>E. uncinatum</i>	8,50 b (12,45)	7,33	70	4,66 b (32,82)	2,64	31
<i>Q. paraensis</i>	13,36 a (11,58)	11,77	57	4,30 b (35,52)	2,58	2
PVA						
<i>C. odorata</i>	8,37 ab (14,50)	6,65	62	3,69 a (26,56)	2,30	4
<i>E. schomburgkii</i>	8,44 ab (29,11)	5,36	8	2,10 ab (59,30)	0,85	1
<i>E. uncinatum</i>	6,95 b (32,20)	3,85	46	1,30 b (59,41)	0,35	1
<i>Q. paraensis</i>	9,90 a (25,57)	7,09	22	1,25 b (51,82)	0,65	0

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Negrito = valores que atingiram o requisito da norma EN 13353 (EN, 2008). Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna para cada adesivo são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

Na condição seca tanto o EPI quanto o PVA atenderam ao requisito do 5º percentil inferior para todas as espécies (TABELA 3.8). Enquanto para o percentual de falha na madeira apenas o PVA não atendeu ao requisito para *E. schomburgkii* e *Q. paraensis*. Houve diferença estatística na RLC entre as juntas coladas com EPI e PVA apenas para *E. schomburgkii* e *Q. paraensis*, que apresentaram os maiores valores médios para o primeiro adesivo.

No pré-tratamento úmido apenas o EPI atendeu ao requisito do 5º percentil inferior para *C. odorata*, *E. schomburgkii* e *E. uncinatum* e *Q. paraensis*, enquanto a

falha na madeira foi inferior ao requisito para os dois adesivos em todas as espécies. Houve diferença estatística na RLC entre as juntas coladas tanto com EPI quanto com PVA para todas as espécies, que apresentaram os maiores valores médios para o EPI.

TABELA 3.8 - DESDOBRAMENTO DE ADESIVO DENTRO DE CADA NÍVEL DE ESPÉCIE PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO

Tratamentos		Seco			Úmido		
		RLC	5° PI	FM	RLC	5° PI	FM
		(MPa)	(%)	(%)	(MPa)	(%)	(%)
<i>C. odorata</i>	EPI	7,52 a (20,52)	5,98	52	5,49 a (28,07)	3,36	31
	PVA	8,37 a (14,50)	6,65	62	3,69 b (26,56)	2,30	4
<i>E. schomburgkii</i>	EPI	13,24 a (14,40)	10,80	41	7,18 a (36,11)	3,27	12
	PVA	8,44 b (29,11)	5,36	8	2,10 b (59,30)	0,85	1
<i>E. uncinatum</i>	EPI	8,50 a (12,45)	7,33	70	4,66 a (32,82)	2,64	31
	PVA	6,95 a (32,20)	3,85	46	1,30 b (59,41)	0,35	1
<i>Q. paraensis</i>	EPI	13,36 a (11,58)	11,77	57	4,30 a (35,52)	2,58	2
	PVA	9,90 b (25,57)	7,09	22	1,25 b (51,82)	0,65	0

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Negrito = valores que atingiram o requisito da norma EN 13353 (EN, 2008). Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna para cada espécie são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

A imersão dos corpos de prova em água por 24 horas causou reduções na RLC das juntas de 26,9% (*C. odorata*) a 67,8% (*Q. paraensis*) para o adesivo EPI. Enquanto para o PVA essa redução variou de 55,9% (*C. odorata*) a 87,4% (*Q. paraensis*). De modo geral, esses resultados evidenciaram a superioridade do adesivo EPI frente ao PVA na colagem lateral ao testar as madeiras de todas as espécies avaliadas neste estudo para aplicações de uso interior/ambientes secos (pré-tratamento úmido).

O melhor desempenho do adesivo EPI em relação ao PVA também foi reportado por Rojas *et al.* (2020) para *Cedrelinga cateniformis*, *Cariniana domestica* e *Copaifera paupera*; Bila *et al.* (2021) para *B. spiciformis* e *J. globiflora*; Iwakiri *et al.* (2021) para *E. badjensis*; e Iejavs *et al.* (2022) para *Eucalyptus grandis* e *Pinus radiata*. Iejavs *et al.* (2022) atribuíram as diferenças de resistência ao cisalhamento entre EPI e PVA às diferentes propriedades dos adesivos, como estrutura físico-química, capacidade de penetração e reologia.

Os valores médios de RLC na condição seca variaram de 7,52 MPa (*C. odorata*) a 13,36 MPa (*Q. paraensis*) para o adesivo EPI e de 6,95 MPa (*E. uncinatum*) a 9,90 MPa (*Q. paraensis*) para o PVA. Enquanto no pré-tratamento úmido essa variação foi de 3,03 MPa (*Q. paraensis*) a 7,18 MPa (*E. schomburgkii*) para o adesivo EPI e de 1,25 MPa (*Q. paraensis*) a 3,96 MPa (*C. odorata*) para o PVA. Apesar de quase todas as operações de colagem serem únicas: espécies, propriedades de superfície da madeira, adesivos e processos de colagem diferentes (HUNT *et al.*, 2018), foi possível verificar que os resultados encontrados nesta pesquisa foram satisfatórios em relação aos de outras madeiras tropicais, assim como de eucalipto e pinus.

Para madeiras tropicais, por exemplo, Rojas *et al.* (2020) observaram variação de 8,84 MPa (*C. paupera*) a 9,35 MPa (*C. domestica*) para o adesivo PVA e de 9,77 MPa (*C. cateniformis*) a 10,53 MPa (*C. domestica*) para o EPI na condição sem pré-tratamento (seco). Enquanto no pré-tratamento úmido os autores verificaram variação de 0,82 MPa (*C. domestica*) a 1,69 MPa (*C. cateniformis*) para o PVA e de 4,31 MPa (*C. cateniformis*) a 5,23 MPa (*C. paupera*) para o EPI.

Para *E. badjensis* Iwakiri *et al.* (2021) obtiveram valores médios de cisalhamento de 10,55 MPa (seco) e 2,09 MPa (úmido) para PVA e de 12,66 MPa (seco) e 5,23 MPa (úmido) para EPI, utilizando pressão de 0,75 MPa e gramatura de 180 g.m⁻². Enquanto para *Pinus taeda* Lopes *et al.* (2013) encontraram uma variação de 7,21 MPa (seco) a 1,91 MPa (úmido) para o PVA e de 7,63 MPa (seco) a 2,91 MPa (úmido) para o EPI, utilizando pressão de 0,7 kgf.cm⁻² e gramatura de 200 g.m⁻². Outro ponto a ser observado é que madeiras de baixa densidade geralmente são menos resistentes, por isso geralmente apresentam menor tensão de ruptura da linha adesiva (HUNT *et al.*, 2018).

3.4 CONCLUSÕES

As madeiras de *C. odorata* e *E. uncinatum* apresentaram densidades consideradas leve e *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* moderadamente pesadas, e anisotropia de contração de baixa a alta. Os teores de extrativos, cinzas e pH estão dentro da faixa de valores normalmente relatados na literatura para madeiras tropicais.

Para a produção de emendas de topo tipo *finger joint* o adesivo PVA na gramatura de 180 g.m⁻² foi suficiente e adequado, superando os requisitos mínimos de qualidade de colagem da norma ASTM D 5572 em todos os pré-tratamentos.

Na colagem lateral, o adesivo EPI apresentou desempenho superior ao PVA, sendo o único a atender ao requisito do 5º percentil inferior na condição úmida para todas as espécies avaliadas. *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* apresentaram potencial para produção de painéis EGP com o adesivo EPI na gramatura de 180 g.m⁻², conforme o requisito do 5º percentil inferior da norma EN 15353.

Logo, os resíduos madeireiros do processo de desdobro em serraria das madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* apresentaram qualidade de colagem adequadas para produção de painéis EGP para uso em ambiente interno em condições secas, sendo, portanto, considerados promissores para a geração de produtos de alto valor agregado e otimização do uso dessa matéria-prima.

CAPÍTULO 4

POTENCIAL DE USO DE RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA TROPICAL DA AMAZÔNIA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE COLAGEM LATERAL HÍBRIDOS

RESUMO

Tradicionalmente, os painéis colados lateralmente são produzidos com madeiras de uma única espécie. Considerando que a heterogeneidade de espécies que compõem os resíduos de madeira sólida na região amazônica é o principal desafio para o uso desse material para geração de produtos de maior valor agregado, a investigação sobre o potencial de uso de diferentes espécies e composições para a produção de painéis colados lateralmente pode contribuir para um melhor aproveitamento dessa matéria-prima. O objetivo deste capítulo foi avaliar o potencial de uso de resíduos de madeira sólida das espécies *Cedrela odorata* (cedro-rosa), *Enterolobium schomburgkii* (orelha-de-macaco), *Erisma uncinatum* (cedrinho) e *Qualea paraensis* (cambará) para a fabricação de painéis de colagem lateral híbridos. A qualidade das emendas de topo e das juntas coladas com os adesivos PVA e EPI, respectivamente, com gramaturas de 180 g.m⁻², foi avaliada por meio dos testes de flexão estática, tração paralela e cisalhamento, utilizando as normas ASTM D 5572, EN 13353 e EN 13354. Um total de 1.460 corpos de prova expostos aos pré-tratamentos seco, alta temperatura, ciclo triplo e úmido foram testados quanto à resistência da linha de cola. Os resultados de todos os ensaios para todos os pré-tratamentos das emendas de topo e das juntas coladas lateralmente demonstraram potencial dos resíduos madeireiros para a fabricação de painéis colados lateralmente para uso interior em ambiente seco. Verificou-se uma tendência de balanceamento dos valores de resistência em emendas e juntas híbridas, possivelmente em função das densidades das peças de madeiras. O pré-tratamento úmido apresentou excelentes resultados de 5º percentil inferior, destacando o potencial dos resíduos de madeira sólida tropical da Amazônia para a produção de painéis de colagem lateral.

Palavras-chave: Resíduos madeireiros. Painéis colados lateralmente. Produtos de maior valor agregado. Qualidade de colagem. Painéis EGP.

4.1 INTRODUÇÃO

O setor madeireiro é um dos mais importantes economicamente para a região amazônica (LIMA; SILVA, 2016). Todavia, a maioria das serrarias locais produz predominantemente peças de madeira sem beneficiamento, e por isso, de baixo valor agregado (VALDIONES *et al.*, 2022), o que implica na geração de grande volume de resíduos madeireiros (HUMMEL *et al.*, 2010; RAMOS *et al.*, 2017).

O aproveitamento de resíduos do processamento de madeiras em serrarias na região amazônica ainda é muito incipiente (BILA *et al.*, 2016), o que resulta em uma subutilização desse material. Como os recursos naturais são finitos, é cada vez mais necessária a adoção de práticas que contribuam para a redução do desperdício de matérias-primas naturais (ZHANG *et al.*, 2014).

Iniciativas focadas no uso de resíduos de madeira tropical para geração de produtos de maior valor agregado, como painéis de madeira por exemplo, são urgentes (VALDIONES *et al.*, 2022). A fabricação de painéis de colagem lateral (EGP) é uma das alternativas para o aproveitamento de resíduos de madeira sólida (TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020).

Os painéis EGP são produzidos a partir da união de sarrafos colados lateralmente com uso de adesivos, podendo ou não ter emendas de topo do tipo *finger joint* (TIENNE *et al.*, 2011). São caracterizados por não utilizar revestimentos, pois o principal diferencial desse tipo de painel é a valorização do aspecto estético natural das madeiras (TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020).

As espécies mais utilizadas na produção dos painéis EGP são *Pinus taeda*, *Eucalyptus* sp. e *Tectona grandis* (ALMEIDA, 2013). Esses painéis são produzidos industrialmente com espécies únicas. Já que a colagem é influenciada por diversas características das madeiras, como massa específica, anisotropia, extrativos, dentre outras (FRIHART; HUNT, 2010; ALMEIDA, 2015). Sendo que a massa específica é a propriedade de maior influência nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis EGP (ROJAS *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o principal desafio no uso de resíduos de madeira sólida tropical para a fabricação de painéis EGP é a heterogeneidade de espécies que compõem esse material. Apesar disso, o uso de resíduos de madeira para geração de produtos de maior valor agregado é possível e pode contribuir para a geração de trabalho e

renda, além de reduzir os impactos ambientais pela fixação de carbono (RIVELA *et al.*, 2006).

Diante disso, visando subsidiar a melhoria do aproveitamento dos resíduos de madeira sólida tropical em serrarias na região amazônica, bem como agregar valor a esse recurso, faz-se necessária a investigação da viabilidade de uso de resíduos de madeira sólida de diferentes espécies e composições para a produção de painéis EGP. Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar o potencial de produção de painéis EGP mistos, utilizando resíduos de madeira sólida de quatro espécies amazônicas, por meio da qualidade de colagem de emendas de topo e juntas coladas lateralmente unidas individualmente e em configurações híbridas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do material

Os resíduos utilizados neste estudo consistiram em costaneiras, aparas e sobras de madeira provenientes do desdobro de toras das espécies cedro-rosa (*Cedrela odorata*), orelha-de-macaco (*Enterolobium schomburgkii*), cedrinho (*Erismia uncinatum*) e cambará (*Qualea paraensis*) oriundas de Plano de Manejo Florestal Sustentável, e doados pela empresa Rovermad (coordenadas 11°55'52" S e 61°59'52" O, Alta Floresta D'Oeste-RO, Brasil).

Resíduos de cinco toras de cada espécie (diâmetro à altura do peito médio geral de 55 cm) foram coletados e convertidos em sarrafos com dimensões de 30 mm x 60 mm x 400 mm de espessura, largura e comprimento, respectivamente. Esse material foi mantido sob local coberto por aproximadamente 90 dias para secagem ao ar livre (FIGURA 4.1). Em seguida, foi transportado para o Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, onde realizou-se os procedimentos experimentais.

FIGURA 4.1 – CONVERSÃO DOS RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA EM SARRAFOS



FONTE: A autora (2024).

4.2.2 Fabricação das emendas de topo e das juntas coladas lateralmente

Os sarrafos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C até o teor de umidade de 12%. Posteriormente, foram beneficiados para as dimensões finais de 22 mm x 55 mm x 310 mm para a colagem lateral e de 25 mm x 55 mm x 200 mm (espessura, largura e comprimento, respectivamente) para a colagem de topo. Esses últimos foram ainda usinados nas pontas com fresagem do tipo *finger joints* para a confecção dos dentes.

As colagens foram realizadas individualmente por espécie e em misturas entre elas (configurações híbridas), perfazendo um total de 10 tratamentos para cada tipo de colagem (TABELA 4.1). Os pares de sarrafos a serem unidos foram pareados aleatoriamente. Para a colagem de topo foi utilizado o adesivo Poliacetato de Vinila (PVA D3) com gramatura de 180 g.m⁻² e pressão de 0,3 MPa por 30 segundos, e para a colagem lateral foi utilizado o adesivo Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI) com gramatura de 180 g.m⁻² e pressão de 0,8 MPa por 60 minutos. Os adesivos foram aplicados com auxílio de pincel em linha de cola simples e os sarrafos foram unidos aos pares (FIGURA 4.2).

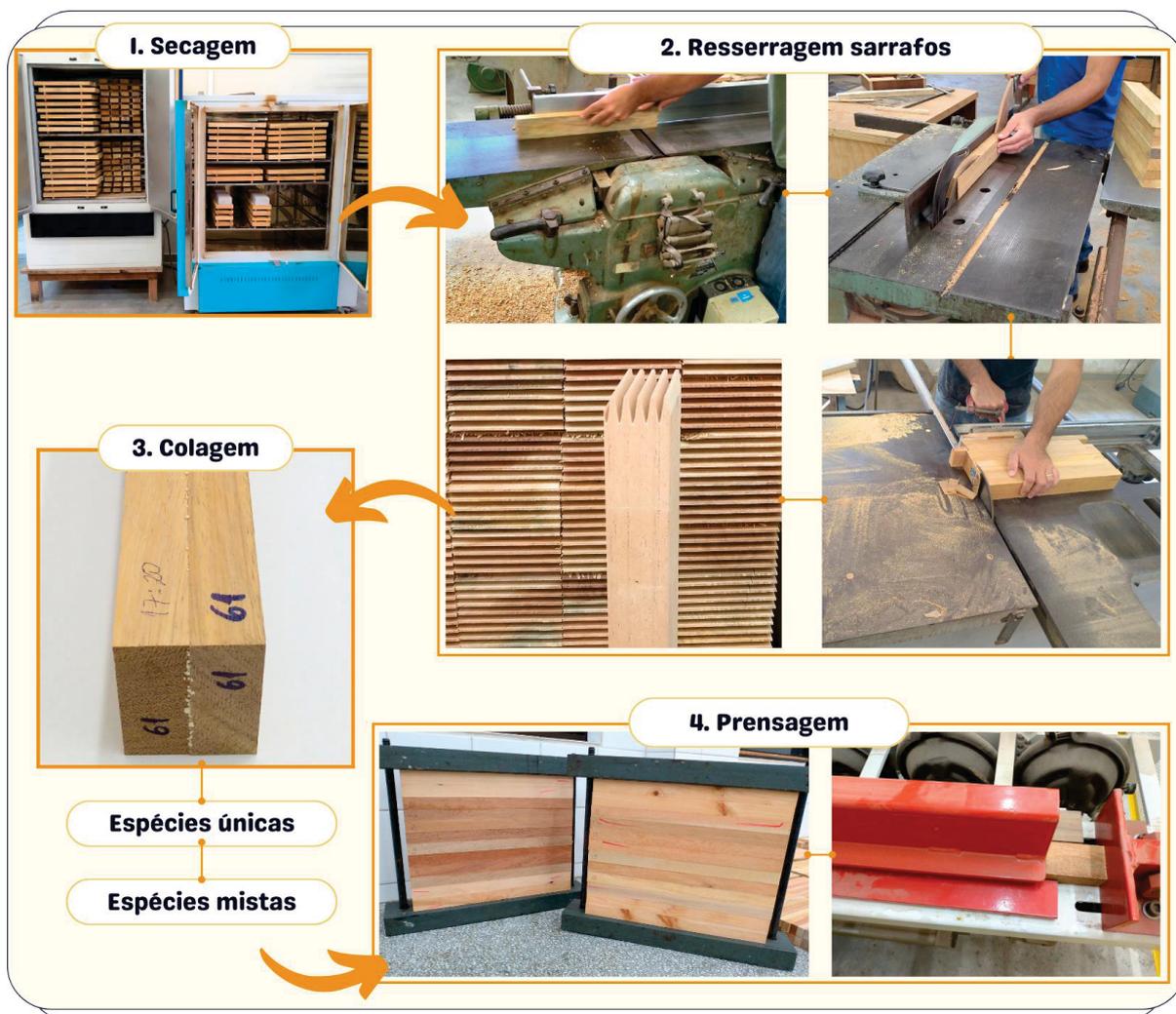
TABELA 4.1 - PLANO EXPERIMENTAL DAS COLAGENS DE TOPO E LATERAL

Tratamentos	Espécies	Adesivos	
		Colagem de topo	Colagem lateral
1	<i>C. odorata</i>	PVA D3	EPI
2	<i>E. schomburgkii</i>	PVA D3	EPI
3	<i>E. uncinatum</i>	PVA D3	EPI
4	<i>Q. paraensis</i>	PVA D3	EPI
5	<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	PVA D3	EPI
6	<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	PVA D3	EPI
7	<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	PVA D3	EPI
8	<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	PVA D3	EPI
9	<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	PVA D3	EPI
10	<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	PVA D3	EPI

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: EPI = emulsão polimérica de isocianato. PVA D3 = poliacetato de vinila.

FIGURA 4.2 – PROCESSO DE PREPARO E COLAGEM DOS SARRAFOS



FONTE: A autora (2024).

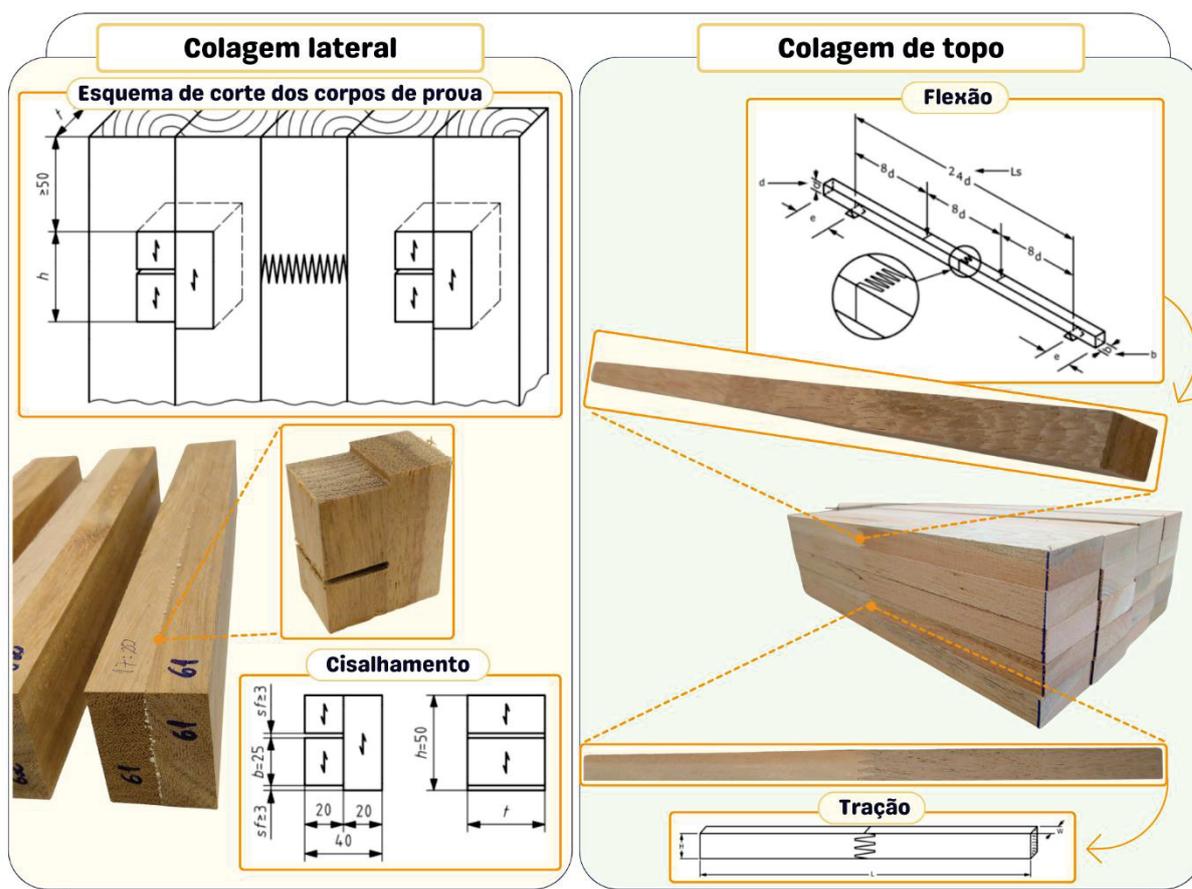
Com a finalidade de caracterizar as madeiras, foi realizada a determinação da densidade aparente a 12% de umidade de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997). Para tanto, foram utilizados os próprios sarrafos preparados para as colagens.

As densidades das madeiras foram classificadas baseadas nos estudos de Melo, Coradin e Mendes (1990); Coradin *et al.* (2010) e Silveira, Rezende e Vale (2013), que definem como de baixa densidade, ou leve, as madeiras que apresentam valores menores que $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$; média densidade as madeiras com valores entre $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$; e alta densidade, ou pesada, as madeiras com valores maiores que $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$.

4.2.3 Qualidade das colagens

Após o período de estabilização e cura (sete dias) dos adesivos, foram produzidos corpos de prova a partir das emendas de topo e das juntas coladas lateralmente seguindo as especificações das normas ASTM D 5572 (ASTM, 2019) e EN 13354 (EN, 2008a) (FIGURA 4.3).

FIGURA 4.3 – ESQUEMA DE CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA SEGUNDO AS ESPECIFICAÇÕES DAS NORMAS EN 13354 (COLAGEM LATERAL) E ASTM D 5572 (COLAGEM DE TOPO)



FONTE: EN (2008a); ASTM (2019); A autora (2024).

LEGENDA: Corpo de prova de cisalhamento: t = espessura do painel; h = altura da peça de teste: 50 mm; b = largura de cisalhamento: 25 mm; sf = largura dos cortes da serra (≥ 3 mm). Corpo de prova de flexão: $L_s = 307,2$ mm; $b = 19,2$ mm; $d = 12,8$ mm; e = é a dimensão estendida do comprimento da montagem que fica fora dos pontos de reação. Corpo de prova de tração: $L = 254,0$ mm; $H = 19,05$ mm; $W = 6,35$ mm.

Para avaliar a qualidade da colagem de topo foram testados 20 corpos de prova de cada tratamento no ensaio de flexão estática e 12 no de tração paralela, em cada um dos pré-tratamentos estabelecidos pela norma ASTM D 5572 (ASTM, 2019): seco (corpos de prova a 12% de umidade), Alta Temperatura (corpos de prova expostos a 104 ± 3 °C por 6 horas) e Ciclo Triplo (corpos de prova imersos em água a temperatura ambiente por 4 horas, seguido de secagem em estufa a 41 ± 3 °C por 19 horas, procedimento foi repetido por mais dois ciclos). Para a colagem lateral foram testados 20 corpos de prova de cada tratamento no ensaio de cisalhamento da linha de cola nos pré-tratamentos seco (corpos de prova a 12% de umidade) e úmido (corpos de prova imersos em água a 20 ± 3 °C por 24 horas).

Após os ensaios de cisalhamento e tração paralela as percentagens de falha na madeira foram avaliadas e o 5º percentil inferior foi calculado para a colagem lateral conforme a norma EN 326-1 (EN, 1994). Os resultados dos ensaios foram comparados com os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas EN 13353 (EN, 2008b) e ASTM D 5572 (ASTM, 2019).

4.2.4 Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. A normalidade dos dados e a homogeneidade de variâncias foram previamente verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados coletados foram analisados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) *one-way* ($p < 0,05$) para investigar os efeitos de espécies na qualidade das colagens de topo e lateral. Quando significativo pelo teste F, as diferenças entre as médias dos dados experimentais foram avaliadas por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$). O *software* Sisvar (versão 26) (FERREIRA, 2011) foi usado para a análise estatística.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Densidade aparente (12%)

Na TABELA 4.2 estão apresentados os valores médios de densidade aparente (12%) para as madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum*, *Q. paraensis* e suas combinações.

TABELA 4.2 - DENSIDADE APARENTE A 12% DE UMIDADE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum*, *Q. paraensis* E SUAS COMBINAÇÕES ESTUDADAS

Espécies	D _{ap} 12% (g.cm ⁻³)	CV (%)	Classificação da densidade
<i>C. odorata</i>	0,51 d	4,06	Baixa
<i>E. schomburgkii</i>	0,78 a	1,28	Alta
<i>E. uncinatum</i>	0,56 c	3,09	Baixa
<i>Q. paraensis</i>	0,79 a	1,27	Alta
<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,66 b	1,52	Média
<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	0,54 cd	1,08	Baixa
<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,67 b	2,29	Média
<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	0,66 b	0,87	Média
<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	0,66 b	2,62	Média
<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,77 a	0,00	Alta

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: D_{ap} 12% = densidade aparente a 12% de umidade em $g.cm^{-3}$. CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade.

As espécies *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* e a combinação entre elas apresentaram os maiores valores médios de densidade aparente, não havendo diferença estatística entre ambas. Enquanto o menor valor médio de densidade aparente foi observado para *C. odorata*. Os valores médios de densidade aparente para as espécies estudadas variaram de $0,51 g.cm^{-3}$ para *C. odorata* a $0,79 g.cm^{-3}$ para *Q. paraensis*.

Estudos anteriores (KAMKE; LEE, 2007; HASS *et al.*, 2011; MUSAH *et al.*, 2021) sugeriram que características anatômicas como a porosidade, que está diretamente relacionada com a densidade, transição da madeira inicial/tardia e tipos de células influenciam na penetração do adesivo na madeira e conseqüentemente na qualidade da ligação.

4.3.2 Resistência das emendas de topo

Os resultados de flexão estática das emendas de topo foram estatisticamente diferentes apenas nos pré-tratamentos seco e ciclo triplo (TABELA 4.3). Enquanto para tração paralela houve diferença estatística em todos os pré-tratamentos.

No ensaio de flexão estática *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* bem como a configuração híbrida delas apresentaram resistências estatisticamente iguais entre si, mas superiores aos demais tratamentos no pré-tratamento seco. No pré-tratamento ciclo triplo *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* também foram estatisticamente iguais entre si e superiores aos demais tratamentos. Todas as espécies individualmente e configurações híbridas atenderam aos requisitos mínimos para esses dois pré-tratamentos (13,8 MPa – Seco; 6,9 MPa – ciclo triplo) segundo a norma ASTM D 5572 (ASTM, 2019).

No ensaio de tração paralela, pré-tratamento seco, *Q. paraensis* x *E. schomburgkii* foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. Nos pré-tratamentos alta temperatura e ciclo triplo *E. schomburgkii* apresentou resistência superior aos demais tratamentos. Considerando apenas o valor de resistência, todas as espécies individuais e em configurações híbridas atenderam aos requisitos mínimos (seco: > 13,8 MPa; ciclo triplo e alta temperatura: > 6,9 MPa) da norma ASTM

D 5572 (ASTM, 2019). Quanto à falha na madeira, *E. schomburgkii*, *C. odorata* x *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* x *C. odorata* e *Q. paraensis* x *E. schomburgkii* não alcançaram o requisito mínimo (30%) no pré-tratamento seco. Enquanto nos pré-tratamentos alta temperatura e ciclo triplo *Q. paraensis* x *E. schomburgkii* e *E. schomburgkii* não alcançaram o requisito mínimo (15%) para falha na madeira.

TABELA 4.3 - RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA E TRAÇÃO PARALELA DAS EMENDAS DE TOPO, COLADAS COM ADESIVO PVA COM GRAMATURA DE 180 g.m⁻², PARA CADA PRÉ-TRATAMENTO DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis* INDIVIDUALMENTE E EM CONFIGURAÇÕES HÍBRIDAS

Pré-tratamentos	Espécies	Flexão	Tração	FM
		(MPa)		(%)
Seco	<i>C. odorata</i>	48,43 (10,77) ab	22,90 (11,93) abc	37
	<i>E. schomburgkii</i>	53,17 (11,99) a	26,58 (28,32) abc	12
	<i>E. uncinatum</i>	36,53 (20,42) d	20,34 (22,73) c	62
	<i>Q. paraensis</i>	53,61 (15,89) a	22,42 (14,65) bc	31
	<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	50,53 (10,54) ab	24,14 (19,33) abc	27
	<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	39,41 (20,28) cd	24,63 (24,01) abc	52
	<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	48,54 (17,34) ab	24,43 (20,06) abc	54
	<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	45,08 (14,02) bc	22,96 (28,44) bc	55
	<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	49,19 (13,45) ab	28,76 (26,05) ab	23
	<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	52,96 (11,53) a	31,35 (24,72) a	18
Alta temperatura	<i>C. odorata</i>	29,84 (38,19) a	31,25 (34,87) ab	33
	<i>E. schomburgkii</i>	29,32 (35,11) a	33,93 (28,91) a	26
	<i>E. uncinatum</i>	31,10 (32,37) a	21,80 (23,51) b	72
	<i>Q. paraensis</i>	33,39 (38,37) a	25,44 (25,67) ab	35
	<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	28,64 (29,07) a	27,98 (14,93) ab	20
	<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	30,83 (28,31) a	27,63 (16,94) ab	49
	<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	32,02 (35,31) a	26,69 (13,54) ab	41
	<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	28,50 (33,01) a	24,87 (17,03) ab	43
	<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	23,83 (43,64) a	30,87 (22,25) ab	15
	<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	28,38 (34,59) a	29,35 (25,45) ab	10
Ciclo triplo	<i>C. odorata</i>	52,63 (9,84) ab	30,51 (21,65) abc	22
	<i>E. schomburgkii</i>	55,29 (14,03) a	35,86 (17,40) a	13
	<i>E. uncinatum</i>	37,70 (28,44) d	23,13 (25,38) cd	55
	<i>Q. paraensis</i>	56,23 (12,10) a	32,47 (19,39) ab	28
	<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	53,23 (14,17) ab	31,02 (21,79) abc	45
	<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	40,00 (26,71) cd	21,76 (22,66) d	38
	<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	48,10 (21,57) abc	28,61 (21,43) abcd	48
	<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	44,61 (21,72) bcd	24,63 (24,68) bcd	37
	<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	50,57 (20,49) ab	30,55 (17,94) abc	27
	<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	51,76 (13,18) ab	27,93 (27,96) abcd	23

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: FM (%) = percentual de falha na madeira. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna para cada pré-tratamento são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

De modo geral, foi observado um comportamento de tendência a um balanceamento das resistências no pré-tratamento seco. Por exemplo, a combinação

de colagem de *E. uncinatum* x *Q. paraensis* resultou numa resistência à flexão estática média de 45,08 MPa, resistência à tração paralela média de 22,96 MPa e falha média na madeira de 55%. Enquanto nas colagens individuais essas espécies apresentaram resistência à flexão estática média de 36,53 MPa, resistência à tração paralela média de 20,34 MPa e falha média na madeira de 62% (*E. uncinatum*) e resistência à flexão estática média de 53,61 MPa, resistência à tração paralela média de 22,42 MPa e falha média na madeira de 31% (*Q. paraensis*). O mesmo comportamento para essas propriedades foi observado para as emendas de topo de *C. odorata* em combinação com *E. schomburgkii*.

Quanto aos outros pré-tratamentos, alta temperatura não apresentou um padrão de comportamento claro, o que foi evidenciado pela análise estatística realizada; e, no ciclo triplo as maiores resistências à flexão estática médias foram observadas para *Q. paraensis*, *E. schomburgkii* e *C. odorata*, assim como para suas combinações. Enquanto para a resistência à tração paralela observou-se novamente a tendência de balanceamento, com a combinação de *E. uncinatum* x *Q. paraensis* apresentando valor médio de 24,63 MPa, e as juntas coladas das espécies individuais valores médios de 23,13 MPa (*E. uncinatum*) e 32,47 MPa (*Q. paraensis*). Comportamento semelhante foi observado para a combinação de *C. odorata* x *E. schomburgkii*, em que as emendas de topo apresentaram resistência à tração paralela média de 31,02 MPa, enquanto nas colagens individuais essas espécies apresentaram resistência à tração paralela média de 30,51 MPa (*C. odorata*) e 35,86 MPa (*E. schomburgkii*).

Mesmo que a grande maioria das operações de colagem sejam consideradas únicas, devido às diferentes variáveis envolvidas no processo, como espécies, propriedades da madeira, adesivos, parâmetros de colagem, entre outros (Hunt *et al.*, 2018), os resultados obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios e compatíveis com os observados para as madeiras mais utilizadas industrialmente na produção de painéis EGP, pinus e eucalipto.

Iwakiri *et al.* (2021), também utilizando o adesivo PVA D3 na gramatura de 180 g.m⁻², encontraram resistências à flexão estática das emendas de topo para *Eucalyptus badjensis* de 48,89 MPa, 41,31 MPa e 11,44 MPa nos pré-tratamentos seco, alta temperatura e ciclo triplo, respectivamente. Para *Pinus taeda*, Lau (2017) utilizando os mesmos parâmetros de colagem encontrou valores médios de

resistência à flexão estática de 28,53 MPa, 14,05 MPa e 7,39 MPa nos pré-tratamentos seco, alta temperatura e ciclo triplo, respectivamente.

Para *E. badjensis* Iwakiri, *et al.* (2021) encontraram valores médios de tração de 26,78 MPa; 24,85 MPa e 19,88 MPa nos pré-tratamentos seco, alta temperatura e ciclo triplo, respectivamente, e uma falha média na madeira de 25% a 97%. Enquanto para *P. taeda*, Lau (2017) encontrou 20,79 MPa; 9,71 MPa e 12,02 MPa nos pré-tratamentos seco, alta temperatura e ciclo triplo, respectivamente, e falha média na madeira de 13% e 58%. Cabe destacar a superioridade das resistências obtidas neste estudo, por todas as combinações de espécies em todos os pré-tratamentos, em relação às madeiras de pinus e eucalipto, o que demonstra a adequação dos resíduos de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* para a produção de painéis EGP.

4.3.3 Resistência das juntas coladas lateralmente

Os resultados médios de cisalhamento diferiram estatisticamente entre as espécies individuais e configurações híbridas avaliadas nos dois pré-tratamentos (TABELA 4.4). Os valores médios de cisalhamento para o pré-tratamento seco variaram de 7,68 MPa (*E. uncinatum*) a 14,26 MPa (*Q. paraensis* x *E. schomburgkii*). Os menores valores de cisalhamento nesse pré-tratamento foram observados para *C. odorata*, *E. uncinatum*, *E. uncinatum* x *C. odorata* e *E. uncinatum* x *Q. paraensis*. Enquanto *Q. paraensis*, *E. schomburgkii*, bem como suas configurações híbridas apresentaram resultados estatisticamente superiores. Apesar disso, todos os tratamentos atenderam aos requisitos mínimos do 5º percentil inferior e de falha na madeira conforme a norma EN 13353 (EN, 2008b).

No pré-tratamento úmido os valores de cisalhamento variaram de 4,30 MPa (*Q. paraensis*) a 9,03 MPa (*E. schomburgkii*). Os menores valores de cisalhamento nesse pré-tratamento foram observados para *Q. paraensis* e *E. uncinatum*. Enquanto *E. schomburgkii*, *C. odorata* x *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* x *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* x *C. odorata* e *Q. paraensis* x *E. schomburgkii* apresentaram resultados estatisticamente superiores. Todavia, todos os tratamentos também atenderam aos requisitos mínimos do 5º percentil inferior e de falha na madeira nesse pré-tratamento. Cabe ainda ressaltar os excelentes resultados de 5º percentil inferior encontrados no

pré-tratamento úmido, que demonstraram a aprovação de todas as espécies e combinações.

TABELA 4.4 - RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO (RLC) DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis* COLADAS INDIVIDUALMENTE E EM CONFIGURAÇÕES HÍBRIDAS COM O ADESIVO EPI NA GRAMATURA DE 180 g.cm⁻²

Espécies	Seco			Úmido		
	RLC	5° PI	FM	RLC	5° PI	FM
	(MPa)	(%)	(%)	(MPa)	(%)	(%)
<i>C. odorata</i>	8,85 c (8,79)	7,89	80	6,88 bc (7,29)	6,32	52
<i>E. schomburgkii</i>	14,15 a (12,77)	11,88	47	9,03 a (10,84)	8,00	19
<i>E. uncinatum</i>	7,68 c (28,34)	4,75	62	5,11 cd (23,55)	3,78	44
<i>Q. paraensis</i>	13,16 ab (19,39)	10,11	60	4,30 d (21,40)	3,59	2
<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	10,77 bc (11,02)	9,26	91	7,85 ab (18,40)	6,20	54
<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	8,56 c (8,61)	7,82	96	6,33 bcd (6,53)	6,02	76
<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	10,77 bc (10,63)	9,65	92	7,51 ab (7,06)	6,93	55
<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	9,14 c (17,35)	7,01	95	6,57 bc (10,44)	6,01	58
<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	10,04 bc (10,24)	8,99	91	7,71 ab (6,56)	7,13	60
<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	14,26 a (7,77)	12,91	59	7,44 ab (9,74)	6,57	8

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: RLC = resistência da linha de cola ao cisalhamento. 5° PI = quinto percentil inferior. FM = falha na madeira. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

De modo geral, assim como verificado na colagem de topo, no pré-tratamento seco também foi possível observar um balanceamento da resistência ao cisalhamento da linha cola. Por exemplo, as juntas coladas com a combinação das espécies *E. uncinatum* e *Q. paraensis* apresentaram RLC média de 9,14 MPa, enquanto nas colagens individuais essas espécies apresentaram cisalhamento médio de 7,68 MPa (*E. uncinatum*) e de 13,16 MPa (*Q. paraensis*). Comportamento semelhante foi apresentado pelas juntas coladas de *C. odorata* em combinação com *E. schomburgkii*, que apresentaram cisalhamento médio de 10,77 MPa. Enquanto nas colagens individuais essas espécies apresentaram cisalhamento médio de 8,85 MPa (*C. odorata*) e 14,15 MPa (*E. schomburgkii*).

Contudo, quando observado o pré-tratamento úmido, o mais importante para determinação da qualidade de colagem, verificou-se uma tendência de comportamento mais interessante. De modo geral, madeiras de baixa densidade (*C. odorata* e *E. uncinatum*) coladas em combinação com espécies de maior densidade (*Q. paraensis*) produziram juntas com maior valor médio de resistência ao cisalhamento em comparação com a resistência das espécies coladas individualmente. Por exemplo, a combinação *E. uncinatum* x *Q. paraensis* resultou em juntas coladas com cisalhamento médio de 6,57 MPa, o que foi superior a *E. uncinatum* (5,11 MPa) e *Q. paraensis* (4,30 MPa) coladas individualmente. Comportamento semelhante foi observado para as juntas coladas de *C. odorata* em combinação com *Q. paraensis*, que apresentaram resistência ao cisalhamento média de 7,71 MPa. Enquanto nas colagens individuais essas espécies apresentaram cisalhamento médio de 4,30 MPa (*Q. paraensis*) e 6,88 MPa (*C. odorata*). Em contrapartida, mesmo sendo uma espécie de maior densidade, *E. schomburgkii* não apresentou o mesmo comportamento quando combinada com espécies de menor densidade, o que pode indicar que outros fatores, além da densidade, podem governar a resistência ao cisalhamento desta espécie, que foi superior quando colada individualmente.

Assim como observado na colagem de topo, os resultados obtidos na colagem lateral foram satisfatórios e compatíveis com os observados na literatura para outras espécies tropicais e para as madeiras de pinus e eucalipto. Para *Pinus taeda*, por exemplo, colada com o adesivo EPI com gramatura de 200 g.m⁻², Lopes *et al.* (2013) obtiveram resistência ao cisalhamento de 7,63 MPa na condição seca e 2,91 MPa no pré-tratamento úmido. Para *Eucalyptus* sp. utilizando o adesivo EPI na gramatura de 180 g.m⁻², França *et al.* (2020) encontraram resistência ao cisalhamento de 12,77 MPa na condição seca e 8,84 MPa na úmida. Enquanto Iwakiri *et al.* (2021) utilizando o mesmo adesivo e gramatura para *E. badjensis* encontraram valores médios de 12,66 MPa e 5,23 MPa nos pré-tratamentos seco e úmido, respectivamente.

Para outras espécies tropicais, Bila *et al.* (2016) observaram que a resistência ao cisalhamento variou de 7,66 MPa para *Manilkara amazonica* a 13,76 MPa para *Eschweilera coriacea* no pré-tratamento úmido, também coladas com o adesivo EPI, mas com gramatura de 200 g.m⁻². Enquanto Rojas *et al.* (2020) obtiveram valores de cisalhamento de 5,19 MPa para *Cariniana domestica*, 5,23 MPa para *Copaifera paupera* e 4,31 MPa para *Cedrelinga cateniformis* no pré-tratamento úmido, utilizando

mesmo adesivo e gramatura do presente estudo. Esses autores também avaliaram a qualidade de colagem de juntas híbridas, obtendo aprovação, segundo os requisitos da norma EN 13353 (EN, 2008b), apenas para as combinações de *C. domestica* x *C. cateniformis* (5,62 MPa) e *C. paupera* x *C. cateniformis* (5,22 MPa). Eles associaram os resultados obtidos aos valores de massa específica, afirmando que maior massa específica proporciona maior resistência da linha de cola.

A variação de 7,68 MPa (*E. uncinatum* - Seco) a 14,26 MPa (*Q. paraensis* x *E. schomburgkii* - Seco) na resistência ao cisalhamento sugere que, entre outros fatores, a densidade das madeiras possivelmente é a propriedade que exerce maior influência sobre essas diferenças. Uma vez que se sabe que a densidade das peças de madeira pode influenciar na qualidade de colagem pelas diferenças de porosidade e permeabilidade de sua estrutura (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020), que podem, neste caso, terem sido balanceadas nas emendas e juntas coladas, já que a densidade de uma emenda/junta colada foi representada pela média entre as densidades dos dois sarrafos de diferentes espécies unidos na colagem.

Nesse sentido, Musah *et al.* (2021) relataram que a mistura de espécies de diferentes características anatômicas pode reduzir os efeitos negativos de algumas características que seriam acentuadas em colagens com uma única espécie. Portanto, esses achados ampliam a discussão sobre o uso de misturas de espécies na produção de painéis de madeira híbridos (MUSAH *et al.*, 2021), o que se torna ainda mais preeminente para as espécies tropicais amazônicas.

4.4 CONCLUSÕES

As emendas de topo de espécies únicas e configurações híbridas atenderam aos pré-requisitos (ASTM D 5572) em todos os pré-tratamentos, com valores de resistência de 1,5 vezes (*E. uncinatum* – seco – tração) a 8,0 vezes (*E. schomburgkii* – ciclo triplo – flexão) superiores aos requisitos normativos.

As juntas coladas lateralmente atenderam ao pré-requisito do 5º percentil inferior em todos os pré-tratamentos, que foi de 3,59 (*Q. paraensis*) a 8,0 (*E. schomburgkii*) na condição mais drástica (pré-tratamento úmido), que apresentou excelentes resultados.

Portanto, os resíduos de madeira sólida, principalmente das seguintes combinações de espécies: *E. schomburgkii*, *C. odorata* x *E. schomburgkii*, *E.*

uncinatum x *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* x *C. odorata* e *Q. paraensis* x *E. schomburgkii*, apresentam potencial para produção de painéis EGP para uso interior seco com produtos de maior valor agregado, como móveis e molduras. Assim, salienta-se que o uso de espécies mistas para a produção de painéis EGP híbridos pode subsidiar a ampliação do aproveitamento dos resíduos e valorização dessa matéria-prima, favorecendo também a produção de painéis mais diversificados e mais sustentáveis, do ponto de vista econômico, produtivo e ambiental.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE MULTIVARIADA PARA AGRUPAMENTO DE ESPÉCIES COM CARACTERÍSTICAS SEMELHANTES PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS EGP

RESUMO

Madeiras tropicais possuem alto valor agregado e o uso dos resíduos para produção de painéis é uma iniciativa para agregar mais valor a esse material, geralmente, constituído por diversas espécies. Ainda, o uso de matérias-primas provenientes de resíduos de madeira sólida tropical na região amazônica contribui para a redução das emissões de carbono associadas à queima desse material. Assim, o objetivo deste capítulo foi utilizar análise multivariada para avaliar a resistência e a densidade de painéis EGP produzidos a partir de resíduos de madeira sólida gerados em serrarias na região amazônica visando o agrupamento de espécies. Foi avaliada a resistência de emendas de topo e de juntas coladas lateralmente das madeiras de *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erisma uncinatum* e *Qualea paraensis*, as quais foram unidas em configurações homogêneas e híbridas com os adesivos PVA e EPI, respectivamente, com gramatura de 180 g.m⁻². Foi determinada a densidade aparente 12% das espécies individualmente e de suas combinações. Os tratamentos foram comparados por meio da análise de variância multivariada e análise discriminante. Os resultados indicaram que na colagem de topo todos os tratamentos, em todos os pré-tratamentos, atenderam aos requisitos normativos, com valores de resistência ligeiramente superiores aos mínimos exigidos. Na colagem lateral, todos os tratamentos atenderam aos requisitos mínimos normativos para os pré-tratamentos seco e úmido. Os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas, sendo a variável densidade aparente 12% a mais importante para discriminar os tratamentos. A discriminação das espécies e combinações baseada na densidade (baixa, média e alta) das madeiras revelou que essa é a característica mais importante para o agrupamento de diferentes espécies que compõem os resíduos de madeira sólida tropical visando a produção de painéis EGP, assim, a definição da formulação do adesivo a ser utilizado na colagem deve ser feita baseando-se na densidade da madeira. Na prática, a separação das espécies em grupos de acordo com as densidades das madeiras pode contribuir também para uma melhor definição das indicações de uso dos painéis EGP de cada classe de densidade, permitindo o direcionamento assertivo para aplicações conforme as faixas de resistências requeridas. Nos ensaios de flexão estática, tração paralela e cisalhamento todas as espécies e suas combinações atenderam aos requisitos mínimos, conforme norma da ASTM, indicando a aprovação das espécies e combinações estudadas para a produção de painéis EGP.

Palavras-chave: Painéis EGP com espécies mistas. Resíduos madeireiros. Madeiras amazônicas. Painéis colados lateralmente. Produtos de maior valor agregado.

5.1 INTRODUÇÃO

As madeiras oriundas de florestas tropicais são valorizadas principalmente pelas suas características e propriedades (TRAORÉ; CORTIZAS, 2024). Apesar disso, a taxa de conversão de toras para madeira serrada na Amazônia é de 30-40%, o que implica na geração de grande volume de resíduos (CLEMENT; HIGUCHI, 2006; MELO *et al.*, 2012; VALDIONES *et al.*, 2022). Os resíduos dos processamentos primário e secundário são classificados em casca, costaneiras, aparas, refilos, destopos, maravalhas, serragem, dentre outros (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990; NUMAZAWA *et al.*, 2003). Nesse contexto, resíduos de madeira sólida como costaneiras, aparas e sobras (BRASIL, 2016) de espécies tropicais têm sido historicamente subaproveitados.

Na Amazônia Sul Ocidental brasileira, os resíduos do desdobro de toras em serrarias são predominantemente comercializados para geração de calor. São escassas as iniciativas focadas no uso dos resíduos de madeira sólida tropical para a produção de produtos de maior valor agregado, como painéis de madeira, por exemplo (VALDIONES *et al.*, 2022). O uso de resíduos de madeira sólida para geração de novos produtos apresenta limitações como variedade de dimensões e de espécies, anisotropia e defeitos naturais, que podem interferir na qualidade do produto final. Por outro lado, a colagem de madeiras possibilita a obtenção de produtos de madeira reconstituída com maiores dimensões, maior estabilidade dimensional e uniformidade da resistência mecânica, melhorando a qualidade e a relação custo benefício (IWAKIRI, 2005).

Painéis colados lateralmente (*Edge glued panels* - EGP) podem ser uma alternativa para um melhor aproveitamento dos resíduos de madeira sólida na região amazônica (BILA *et al.*, 2016). Pois se caracterizam pelo aproveitamento de resíduos do processamento de serrarias (costaneiras e peças não conformes) no seu processo produtivo (TIENNE *et al.*, 2011; TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020). Os painéis EGP são formados por sarrafos de madeira colados lateralmente e emendas de topo do tipo *finger joint* e não utilizam nenhum tipo de revestimento, pois uma de suas características é valorizar o aspecto estético natural das madeiras (TIENNE *et al.*, 2011; DANAWADE *et al.*, 2014). De acordo com Trianoski e Iwakiri (2020), as principais vantagens desse tipo de painel são a melhoria do rendimento de madeira serrada, baixo custo com maquinário, processo produtivo mais simples em relação a

outras indústrias de painéis de madeira reconstituída (MDF, MDP e OSB, por exemplo) e o aspecto decorativo proporcionado pelo uso de peças de madeira curtas e estreitas.

As espécies mais utilizadas industrialmente para a produção de painéis EGP são *Eucalyptus* spp., *Pinus taeda* e *Tectona grandis* (ABIMCI, 2019; TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020), o que é facilitado pela garantia de volume de madeira necessário para alimentar um processo produtivo, haja vista os inúmeros plantios existentes dessas espécies. O principal desafio do uso de resíduos de madeira sólida tropical em processos de fabricação seriada é a heterogeneidade de espécies que compõem esse material. Como geralmente as serrarias da região amazônica trabalham sob demanda, a sazonalidade e a imprevisibilidade da disponibilidade de volume de resíduos de uma mesma espécie constituem um gargalo para a produção de painéis EGP com uma única espécie, que é o usual, em escala industrial. Daí a necessidade de se encontrar soluções que sejam capazes de aproveitar os resíduos de madeira sólida tropical com sua inerente diversidade de espécies.

Nesse sentido, as descobertas de Musah *et al.* (2021) ampliaram a discussão sobre o uso de espécies mistas na produção de painéis de madeira sólida. Os autores observaram que a mistura de espécies com características anatômicas distintas reduziu os efeitos negativos de algumas características que seriam mais influentes em colagens de uma única espécie. Como o ajuste da formulação do adesivo a ser utilizado nas operações de colagem deve ser feito, dentre outros fatores, em função da densidade da madeira (MARRA, 1992; TSOUMIS, 1991), o presente estudo levantou a hipótese de que essa propriedade poderia ser uma característica determinante no agrupamento das diferentes espécies que compõem os resíduos de madeira sólida tropical, de modo a possibilitar a sistematização no processo de colagem de espécies mistas em configurações híbridas.

Dessa forma, almeja-se ampliar a disponibilidade e possibilidades de uso das matérias-primas lignocelulósicas provenientes dos resíduos madeireiros na região amazônica, contribuindo para um melhor aproveitamento desse recurso, bem como para a geração de renda. Nesse contexto, o objetivo deste capítulo foi utilizar análise multivariada para avaliar a resistência e a densidade de painéis EGP produzidos a partir de resíduos de madeira sólida provenientes de serrarias da Amazônia Sul Ocidental brasileira, visando o agrupamento de espécies com características semelhantes.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Material

O material utilizado neste estudo consistiu em resíduos (costaneiras, aparas e sobras) do desdobro de toras das espécies *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erismia uncinatum* e *Qualea paraensis*, provenientes de Plano de Manejo Florestal Sustentável, que foram doados pela empresa Rovermad (coordenadas 11°55'52" S e 61°59'52" O, Alta Floresta D'Oeste-RO, Brasil).

Foram coletados resíduos de cinco árvores para cada espécie, as quais apresentaram diâmetro à altura do peito médio geral de 55 cm. Esse material foi transformado em sarrafos com dimensões de 30 mm x 60 mm x 400 mm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, e secos ao ar livre sob local coberto por aproximadamente 90 dias. Posteriormente, foi transportado para o Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, onde procedeu-se os experimentos.

5.2.2 Preparo dos sarrafos

Os sarrafos foram secos ao teor de umidade médio de 12% em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C e em seguida beneficiados com as dimensões finais de 22 mm x 55 mm x 310 mm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, para a colagem lateral; e de 25 mm x 55 mm x 200 mm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, para a colagem de topo. Esses últimos foram ainda usinados no topo para confecção dos dentes com fresagem do tipo *finger joints*.

A densidade aparente a 12% de umidade foi determinada de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) a partir da mensuração de todos os sarrafos utilizados nos dois tipos de colagens

5.2.3 Manufatura das juntas coladas lateralmente e emendas *finger joint*

Para a colagem lateral foi utilizado o adesivo Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI) na gramatura de 180 g.m⁻², pressão específica de 0,8 MPa e tempo de prensagem de 60 minutos. Na colagem de topo as emendas *finger joint* foram coladas

com o adesivo Poliacetato de Vinila (PVA D3) na gramatura de 180 g.m⁻² e pressão de 0,3 MPa por 30 segundos. Foi realizada a colagem de cada espécie individualmente e de configurações híbridas delas, resultando em dez tratamentos. Após a prensagem, as juntas coladas lateralmente e as emendas de topo foram acondicionadas durante sete dias a 20 °C e 65% de umidade relativa antes de serem testados.

5.2.4 Avaliação da qualidade das colagens

Após a cura dos adesivos e estabilização, as juntas coladas lateralmente e as emendas *finger joint* foram seccionadas para confecção dos corpos de provas conforme as especificações das normas EN 13354 (EN, 2008a) e ASTM D 5572 (ASTM, 2019), respectivamente. Para a colagem lateral foram testados 20 corpos de prova no ensaio de cisalhamento da linha de cola em cada um dos dois pré-tratamentos (TABELA 5.1) para cada espécie/combinção. Para a colagem de topo foram testados 20 corpos de prova no ensaio de flexão estática e 12 no de tração paralela em cada um dos três pré-tratamentos para cada espécie/combinção.

TABELA 5.1 - PRÉ-TRATAMENTOS APLICADOS AOS CORPOS DE PROVAS ANTES DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Colagem lateral	
Pré-tratamentos	Procedimentos
Seco	12% de umidade
Água fria (úmido)	Imersão por 24h em água fria a uma temperatura de 20 ± 3 °C
Colagem de topo	
Pré-tratamentos	Procedimentos
Seco	12% de umidade
Alta temperatura	6 horas de exposição a 104 ± 3 °C
Ciclo triplo	4 horas de imersão em água à temperatura ambiente, seguida de secagem por 19 horas em estufa a 41 ± 3 °C; o procedimento é repetido por três ciclos

FONTE: EN 13354 (EN, 2008a) e ASTM D 5572, (ASTM 2019).

Como todas as espécies e suas combinações (tratamentos) atenderam aos pré-requisitos mínimos das normas EN 13353 (EN, 2008b) e ASTM D 5572 (ASTM, 2019) para todos os pré-tratamentos, foram apresentados apenas os valores médios das resistências para flexão estática, tração paralela e cisalhamento.

5.2.5 Análise estatística

Os dados relativos às variáveis avaliadas foram analisados por meio da análise de variância multivariada (MANOVA) e análise discriminante, visando comparar os tratamentos (espécies e as combinações) em cada pré-tratamento de cada ensaio.

A MANOVA é uma extensão da análise de variância (ANOVA) quando se possui mais do que uma variável dependente. Estas variáveis dependentes devem ser relacionadas em certa extensão, ou deve haver alguma razão conceitual para considera-las em conjunto. A MANOVA compara grupos e revela se as diferenças entre as médias dos grupos, para a combinação das variáveis independentes, ocorrem por chance. Para fazer isto, a MANOVA cria um novo conjunto de variáveis dependentes, que é uma combinação linear de cada uma das variáveis dependentes originais. Uma análise de variância é realizada usando a esta nova combinação de variáveis dependentes (MARRIOTT, 1974; KACHIGAN, 1991; JOHNSON; WICHERN, 1998; ANDERSON, 2003; HAIR JUNIOR *et al.*, 2005).

A análise discriminante é um procedimento utilizado para identificar as relações existentes entre variáveis nominais e variáveis preditoras quantitativas. Alternativamente, a análise discriminante pode ser considerada um procedimento para identificar os limites entre grupos de objetos, sendo os limites definidos em termos daquelas variáveis características que distinguem ou discriminam os objetos em seus respectivos grupos. O objetivo da análise discriminante é examinar o quanto é possível distinguir os membros de vários grupos com base nas observações feitas neles (MARRIOTT, 1974; KACHIGAN, 1991; JOHNSON; WICHERN, 1998; ANDERSON, 2003; HAIR JUNIOR *et al.*, 2005). A análise discriminante tem por finalidade classificar um objeto em uma de $k \geq 2$ populações, com base em um vetor de observações multivariadas \mathbf{x} desse objeto (FERREIRA, 2018). A análise discriminante calcula os centroides para cada grupo (tratamento). Estes centroides representam a média dos valores obtidos para cada função discriminante, quando estimados seus respectivos escores, ou seja, quando os valores originais são substituídos nas funções obtidas.

Na MANOVA foi considerado as variáveis medidas densidade aparente 12% (g.cm^{-3}) e resistência (MPa) em um único conjunto e teve o objetivo de testar a hipótese de nulidade, a qual expressa que não existe diferença para o vetor de médias

entre as espécies para os ensaios de flexão estática, tração paralela e cisalhamento. As estatísticas utilizadas para avaliar a significância das diferenças entre os fatores foram Traço de Pillai, Lambda de Wilks, Traço de Hotelling e Maior Raiz de Roy, as quais foram aplicadas após constatar aproximação de normalidade multivariada e matriz de variância-covariâncias homogêneas.

Uma vez detectada a rejeição da hipótese de nulidade multivariada, foi aplicada a análise discriminante para o conjunto de variáveis descritas, com o intuito de separar os tratamentos testados e identificar as variáveis mais importantes na separação, utilizando-se as duas primeiras funções discriminantes. As variáveis mais importantes foram indicadas por meio da maior correlação canônica entre a variável original e a função discriminante.

As análises MANOVA e discriminante foram efetuadas separadamente para os ensaios de flexão estática, tração paralela e cisalhamento no *software* SPSS versão 26.0 (IBM, 2019).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Análise de variância multivariada

Os resultados da MANOVA, considerando todas as variáveis avaliadas em todos os pré-tratamentos para flexão estática, tração paralela e cisalhamento, estão apresentados nas TABELA 5.2 e TABELA 5.3.

TABELA 5.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA MULTIVARIADA PARA O CONJUNTO COMPOSTO POR TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS POR PRÉ-TRATAMENTO PARA A COLAGEM DE TOPO

		Flexão estática						Sig.
		Seco		Alta Temperatura		Ciclo Triplo		
		Valor	F	Valor	F	Valor	F	
Espécies	Traço de Pillai	1,082	24,896	0,936	18,569	1,074	24,478	0,0001
	Lambda de Wilks	0,095	46,960	0,114	41,230	0,097	46,275	0,0001
	Traço de Hotelling	7,611	79,496	7,344	76,702	7,505	78,387	0,0001
	Maior raiz de Roy	7,358	155,344	7,284	153,767	7,263	153,332	0,0001
		Tração paralela						Sig.
		Seco		Alta Temperatura		Ciclo Triplo		
		Valor	F	Valor	F	Valor	F	
Espécies	Traço de Pillai	1,136	16,084	1,061	13,679	1,079	14,187	0,0001
	Lambda de Wilks	0,071	33,348	0,079	30,713	0,077	31,275	0,0001
	Traço de Hotelling	10,167	60,999	9,899	58,845	9,979	59,318	0,0001
	Maior raiz de Roy	9,870	120,639	9,717	117,683	9,771	118,342	0,0001

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Sig. = significância.

Os resultados obtidos nas MANOVAs indicaram que houve diferenças, com significância do Lambda de Wilks de 0,0001, entre as espécies e suas combinações avaliadas em todos os pré-tratamentos de cada ensaio para as colagens de topo (TABELA 5.2) e lateral (TABELA 5.3).

TABELA 5.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA MULTIVARIADA PARA O CONJUNTO COMPOSTO POR TODAS AS VARIÁVEIS AVALIADAS POR PRÉ-TRATAMENTO PARA A COLAGEM LATERAL

		Cisalhamento				Sig.
		Seco		24h Água fria		
		Valor	F	Valor	F	
Espécies	Traço de Pillai	1,440	8,562	1,672	17,022	0,0001
	Lambda de Wilks	0,031	15,011	0,021	19,240	0,0001
	Traço de Hotelling	15,945	24,803	13,916	21,647	0,0001
	Maior raiz de Roy	14,935	49,784	10,797	35,988	0,0001

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Sig. = significância.

5.3.2 Análise discriminante

Duas funções discriminantes foram determinadas para cada pré-tratamento de cada ensaio, explicando 100,0% da variabilidade total em todos (TABELA 5.4). A primeira função discriminante apresentou o maior percentual de variância total explicada para todos os pré-tratamentos de todos os ensaios. O que evidenciou que esta função foi a que mais contribuiu para demonstrar as diferenças entre as combinações de espécies (grupos).

Para flexão estática a correlação entre as variáveis e as funções discriminantes foi 0,938 e 0,449 (seco), respectivamente; 0,938 e 0,238 (alta temperatura) e 0,938 e 0,441 (ciclo triplo). Para tração paralela foi 0,953 e 0,478 (seco), 0,952 e 0,393 (alta temperatura) e 0,952 e 0,414 (ciclo triplo). E para cisalhamento foi 0,968 e 0,709 (seco) e 0,957 e 0,870 (úmido). Os valores altos dos coeficientes de correlação canônica da primeira função indicam alto grau de associação entre ela e os grupos.

TABELA 5.4 - PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PELAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS, RELATIVAS AOS AUTOVALORES E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO CANÔNICA PARA CADA UMA DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTES

Ensaio	Pré-tratamento	Função	Autovalor	% de variância	% cumulativa	Correlação canônica
Flexão Estática	Seco	1	7,358	96,7	96,7	0,938
		2	0,253	3,3	100,0	0,449
	Alta Temperatura	1	7,284	99,2	99,2	0,938
		2	0,060	0,8	100,0	0,238
	Ciclo Triplo	1	7,263	96,8	96,8	0,938
		2	0,242	3,2	100,0	0,441
Tração Paralela	Seco	1	9,870	97,1	97,1	0,953
		2	0,296	2,9	100,0	0,478
	Alta Temperatura	1	9,717	98,2	98,2	0,952
		2	0,182	1,8	100,0	0,393
	Ciclo Triplo	1	9,771	97,9	97,9	0,952
		2	0,207	2,1	100,0	0,414
Cisalhamento	Seco	1	14,935	93,7	93,7	0,968
		2	1,009	6,3	100,0	0,709
	24h Água fria	1	10,797	77,6	77,6	0,957
		2	3,120	22,4	100,0	0,870

FONTE: A autora (2024).

A correlação canônica revelou a contribuição que cada variável forneceu para cada função discriminante, por meio de correlações entre as variáveis explicativas e as funções discriminantes padronizadas. A primeira função discriminante apresentou a variável densidade aparente 12% como sendo a de maior peso (correlação canônica) a ela associada em todos os pré-tratamentos para flexão estática, tração paralela e cisalhamento, enquanto para a segunda função discriminante a variável de maior peso foi resistência (TABELA 5.5).

TABELA 5.5 - CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS ORIGINAIS AVALIADAS E AS FUNÇÕES DISCRIMINANTES OBTIDAS POR PRÉ-TRATAMENTO PARA CADA ENSAIO

Variável	Flexão Estática					
	Seco		Alta Temperatura		Ciclo Triplo	
	FD1	FD2	FD1	FD2	FD1	FD2
D _{ap} 12% (g cm ⁻³)	0,993	0,116	0,999	0,053	1,000	0,003
Resistência (MPa)	0,241	0,971	-0,002	1,000	0,179	0,984
Variável	Tração Paralela					
	FD1	FD2	FD1	FD2	FD1	FD2
	D _{ap} 12% (g cm ⁻³)	0,992	0,123	1,000	-0,031	1,000
Resistência (MPa)	0,073	0,997	0,053	0,999	0,138	0,990
Variável	Cisalhamento					
	Seco		24h Água fria		FD1	FD2
	D _{ap} 12% (g cm ⁻³)	0,855	-0,519	0,981	0,192	
Resistência (MPa)	0,691	0,723	0,045	0,999		

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: D_{ap} 12% = densidade aparente a 12% de umidade. Negrito = variáveis de maior peso (maior correlação canônica). FD1 = função discriminante 1 e FD2 = função discriminante 2.

As funções discriminantes obtidas demonstraram que as espécies *Q. paraensis*, *E. schomburgkii* e sua combinação (*Q. paraensis* x *E. schomburgkii*) foram as que apresentaram maiores densidades aparentes 12% e também resistências no pré-tratamento seco nos ensaios de flexão estática e cisalhamento (TABELA 5.6 e TABELA 5.7 e FIGURA 5.1 e FIGURA 5.2). Os maiores valores médios de resistência no pré-tratamento alta temperatura para flexão estática foram de *E. schomburgkii*, *C. odorata* e sua combinação (*C. odorata* x *E. schomburgkii*). Enquanto para o ciclo triplo *Q. paraensis*, *E. uncinatum* e sua combinação (*E. uncinatum* x *E. schomburgkii*) apresentaram as maiores resistências médias neste ensaio.

Para tração paralela *Q. paraensis* x *E. schomburgkii*, *C. odorata* x *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* x *C. odorata* (seco); *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* x *C. odorata* e *C. odorata* (alta temperatura) e; *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* e *C. odorata* x *E. schomburgkii* (ciclo triplo) apresentaram os maiores valores médios de resistência. No pré-tratamento úmido para o cisalhamento as maiores resistências médias foram observadas para *E. schomburgkii*, *C. odorata* x *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* x *C. odorata*.

TABELA 5.6 - DENSIDADE APARENTE A 12% DE UMIDADE E RESISTÊNCIAS MÉDIAS PARA AS COLAGENS DE TOPO E LATERAL

Espécies	Flexão Estática			
	D _{ap} 12% (g cm ⁻³)	Seco	Alta Temperatura	Ciclo Triplo
		Resistência (MPa)		
<i>C. odorata</i>	0,53	48,43	29,84	52,63
<i>E. schomburgkii</i>	0,78	53,17	29,32	55,29
<i>E. uncinatum</i>	0,55	36,53	31,10	37,70
<i>Q. paraensis</i>	0,79	53,61	33,39	56,23
<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,67	50,35	28,64	52,23
<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	0,54	39,41	30,83	40,00
<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,67	48,54	32,02	48,10
<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	0,66	45,08	28,50	45,92
<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	0,67	49,19	23,83	50,57
<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,77	52,96	28,38	51,76
	Tração Paralela			
<i>C. odorata</i>	0,52	22,90	29,62	29,63
<i>E. schomburgkii</i>	0,77	26,58	33,93	34,53
<i>E. uncinatum</i>	0,55	20,34	20,99	22,29
<i>Q. paraensis</i>	0,80	22,42	26,91	33,47
<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,66	29,14	29,12	32,16
<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	0,53	24,63	26,70	22,46
<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,65	24,43	25,99	28,61
<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	0,66	22,96	23,77	23,56
<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	0,64	28,76	29,66	29,45
<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,77	31,35	27,90	29,77
	Cisalhamento			
	D _{ap} 12% (g cm ⁻³)	Seco	24h Água fria	
		Resistência (MPa)		
<i>C. odorata</i>	0,49	9,15	6,88	
<i>E. schomburgkii</i>	0,79	14,83	9,03	
<i>E. uncinatum</i>	0,58	8,57	5,11	
<i>Q. paraensis</i>	0,78	14,08	4,30	
<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,65	11,21	7,85	
<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	0,54	8,31	6,33	
<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,68	11,06	7,51	
<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	0,67	9,79	6,57	
<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	0,67	10,33	7,71	
<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,77	14,64	7,44	

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Negrito = maiores valores médios observados. D_{ap} 12% = densidade aparente a 12% de umidade em g.cm⁻³.

No ensaio de flexão estática todas as espécies e suas combinações atenderam aos requisitos mínimos dos pré-tratamentos seco (13,8 MPa) e ciclo-triplo (6,9 MPa) de acordo com a norma ASTM D 5572 (ASTM, 2019). Para o pré-tratamento alta temperatura nesse ensaio a norma não estabelece valor mínimo de resistência. No ensaio de tração paralela todas as espécies e combinações também atenderam aos requisitos mínimos para os ensaios seco (> 13,8 MPa), ciclo triplo e alta temperatura (> 6,9 MPa) conforme a norma ASTM D 5572 (ASTM, 2019). No ensaio de cisalhamento todas as espécies e combinações também atenderam ao requisito mínimo (5º percentil

inferior > 2,5 MPa) de acordo com a norma EN 13353 (EN, 2008b). O atendimento a esses requisitos, por si só, indica a aprovação das espécies e combinações estudadas para a produção de painéis EGP.

A maioria das emendas/juntas híbridas apresentaram propriedades mecânicas balanceadas, de modo que as resistências, nessas configurações, geralmente foram inferiores ao da espécie que apresentou o maior valor e superiores ao da espécie de menor valor dessa propriedade. Por exemplo, a configuração híbrida de *C. odorata* x *E. schomburgkii*, no pré-tratamento seco do ensaio de cisalhamento, apresentou resistência de 11,21 MPa, valor superior ao de *C. odorata* (9,15 MPa) e inferior ao de *E. schomburgkii* (14,83 MPa) nas configurações homogêneas, o que pode estar relacionado à densidade da madeira dessas espécies. Madeiras nobres geralmente possuem densidade mais elevada, o que é associado a propriedades de resistência superiores (MUSAH *et al.*, 2021). Estudos anteriores (SIKORA; McPOLIN; HARTE, 2016; YELLE; STIRGUS, 2016) relataram que a densidade da madeira apresenta correlação positiva com a resistência ao cisalhamento, pois o aumento da densidade implicou em incremento na resistência, indicando que o desempenho da ligação é influenciado positivamente por esta propriedade.

Os centroides das combinações de espécies para as duas funções discriminantes em cada pré-tratamento de cada ensaio são apresentados na TABELA 5.7. Quando combinadas as duas funções, os centroides mostraram a distribuição e distinção dos grupos em um espaço bidimensional.

TABELA 5.7 - CENTROIDES DE CADA COMBINAÇÃO DE ESPÉCIES EM CADA PRÉ-TRATAMENTO PARA A COLAGEM DE TOPO E LATERAL

Combinação de espécies	Flexão Estática						
	Função Discriminante						
	Seco		Alta Temperatura		Ciclo Triplo		
	FD1	FD2	FD1	FD2	FD1	FD2	
<i>C. odorata</i>	-3,873	1,066	-3,730	0,018	-3,727	1,089	
<i>E. schomburgkii</i>	3,214	0,011	3,199	-0,020	3,193	0,140	
<i>E. uncinatum</i>	-3,135	-0,888	-3,228	0,140	-3,214	-0,724	
<i>Q. paraensis</i>	3,586	-0,016	3,545	0,375	3,560	0,182	
<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,051	0,378	0,099	-0,091	0,093	0,351	
<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	-3,405	-0,392	-3,439	0,114	-3,426	-0,420	
<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,332	0,039	0,322	0,236	0,334	-0,169	
<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	-0,059	-0,378	-0,097	-0,105	-0,102	-0,341	
<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	0,101	0,193	0,153	-0,556	0,122	0,154	
<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	3,189	-0,013	3,176	-0,110	3,166	-0,262	
Combinação de espécies	Tração Paralela						
	<i>C. odorata</i>	-4,165	-0,112	-4,102	0,510	-4,122	0,721
	<i>E. schomburgkii</i>	3,690	-0,061	3,763	0,661	3,655	0,337
	<i>E. uncinatum</i>	-3,188	-0,620	-3,232	-0,675	-3,237	-0,447
	<i>Q. paraensis</i>	4,649	-0,841	4,519	-0,306	4,504	0,068
	<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	-0,054	0,650	0,057	0,224	0,038	0,503
	<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	-3,859	0,161	-3,778	0,108	-3,804	-0,344
	<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	-0,218	-0,141	-0,214	-0,175	-0,287	0,043
	<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	0,130	-0,417	0,087	-0,484	0,069	-0,727
	<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	-0,521	0,619	-0,406	0,319	-0,433	0,183
	<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	3,536	0,763	3,619	-0,127	3,592	-0,333
	Combinação de espécies	Cisalhamento					
		Função Discriminante					
Seco		24h Água fria					
FD1		FD2	FD1	FD2			
<i>C. odorata</i>	-4,859	1,765	-4,799	0,222			
<i>E. schomburgkii</i>	4,799	0,522	3,419	2,376			
<i>E. uncinatum</i>	-3,276	-0,571	-2,154	-1,966			
<i>Q. paraensis</i>	4,225	0,012	4,283	-3,209			
<i>C. odorata</i> x <i>E. schomburgkii</i>	-0,229	0,233	-0,551	1,174			
<i>E. uncinatum</i> x <i>C. odorata</i>	-4,306	0,058	-3,593	-0,473			
<i>E. uncinatum</i> x <i>E. schomburgkii</i>	0,363	-0,536	0,454	0,725			
<i>E. uncinatum</i> x <i>Q. paraensis</i>	-0,602	-1,400	0,287	-0,371			
<i>Q. paraensis</i> x <i>C. odorata</i>	-0,312	-0,921	-0,440	0,999			
<i>Q. paraensis</i> x <i>E. schomburgkii</i>	4,197	0,838	3,094	0,522			

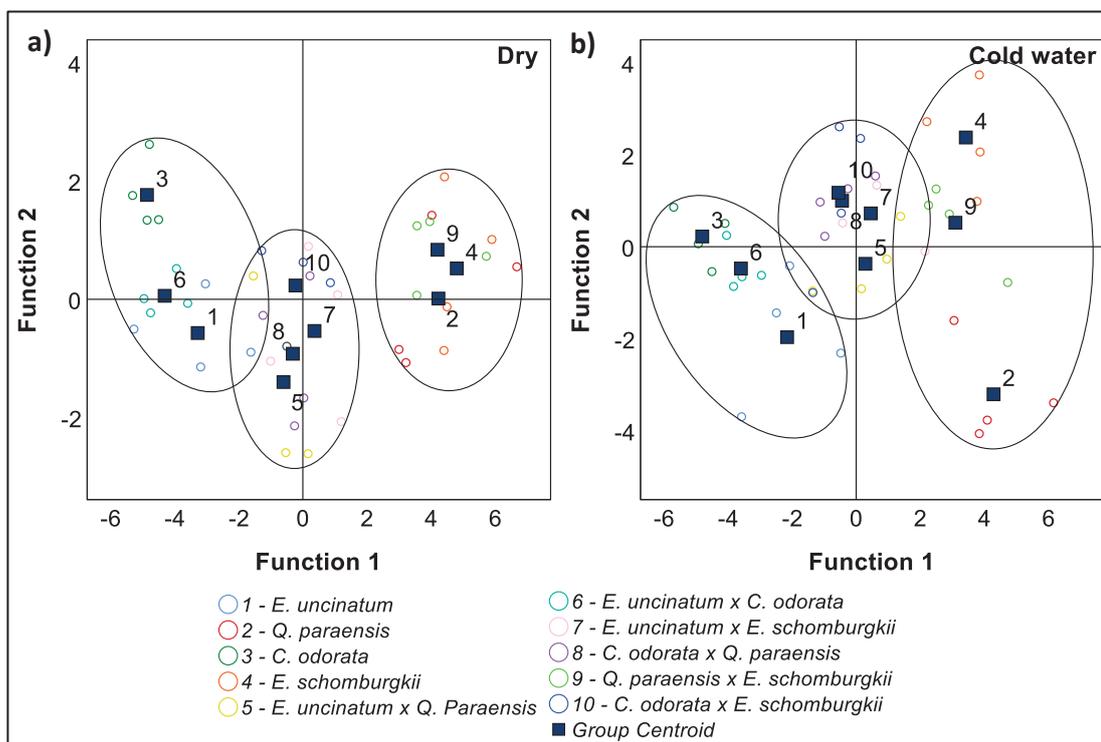
FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: FD1 = função discriminante 1 e FD2 = função discriminante 2.

Os resultados das funções discriminantes 1 e 2, por combinação de espécies para cada pré-tratamento de cada ensaio, com os respectivos grupos centroides são apresentados nas FIGURA 5.1 e FIGURA 5.2. O gráfico discriminante distinguiu os grupos das combinações de espécies com base nas funções discriminantes 1 e 2. A distribuição dos centroides, associada às demais estatísticas, mostrou que a função 1 diferenciou todas as combinações de espécies, de modo que foi possível observar uma separação em três grupos, baseados na densidade aparente 12%, em todos os pré-tratamentos de todos os ensaios, sendo eles: I) *C. odorata*, *E. uncinatum* e sua combinação (*C. odorata* x *E. uncinatum*), com densidade aparente 12% média de 0,51 g.cm⁻³, 0,56 g.cm⁻³ e 0,54 g.cm⁻³, respectivamente; II) *E. uncinatum* x *Q. paraensis*, *E. uncinatum* x *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* x *C. odorata* e *C. odorata* x *E. schomburgkii* com densidade aparente 12% média de 0,66 g.cm⁻³, 0,67 g.cm⁻³, 0,66 g.cm⁻³ e 0,66 g.cm⁻³, respectivamente; e III) *Q. paraensis*, *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* x *E. schomburgkii* com densidade aparente 12% média de 0,79 g.cm⁻³, 0,78 g.cm⁻³ e 0,77 g.cm⁻³, respectivamente.

De acordo com Coradin *et al.* (2010), *C. odorata*, *E. uncinatum* e sua combinação podem ser consideradas como madeiras de baixa densidade; as emendas/juntas híbridas de *C. odorata* x *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* x *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* x *Q. paraensis* e *Q. paraensis* x *C. odorata* como de média densidade; e *E. schomburgkii*, *Q. paraensis* e sua combinação como de alta densidade. No Brasil, as espécies mais utilizadas na produção de painéis EGP são as que possuem madeiras com densidade baixa a média (TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020), como *E. grandis* (0,39 g.cm⁻³ a 0,50 g.cm⁻³), *P. taeda* (0,32 g.cm⁻³ a 0,34 g.cm⁻³) e *T. grandis* (0,48 g.cm⁻³ a 0,64 g.cm⁻³) (LOBÃO *et al.*, 2011). Apesar da contraindicação do uso de madeiras de densidade mais elevada para a produção de painéis EGP (TRIANOSKI; IWAKIRI, 2020; TRIANOSKI; IWAKIRI; BONDUELLE, 2020), é importante destacar que, as espécies de alta densidade (*E. schomburgkii* e *Q. paraensis*) avaliadas apresentaram resistências satisfatórias e atenderam aos requisitos normativos, indicando que elas também podem ser empregadas para essa finalidade.

FIGURA 5.2 - GRÁFICO DISCRIMINANTE DAS COMBINAÇÕES DE ESPÉCIES PARA A COLAGEM LATERAL. A) PRÉ-TRATAMENTO SECO; B) PRÉ-TRATAMENTO 24H ÁGUA FRIA (ÚMIDO)



FONTE: A autora (2024).

A discriminação das espécies e combinações baseada na densidade (baixa, média e alta) das madeiras indicou que essa é a característica mais importante para o agrupamento de diferentes espécies que compõem os resíduos de madeira sólida tropical visando a produção de painéis EGP. A colagem de madeiras depende, dentre outros fatores, da anatomia, porosidade e densidade (IWAKIRI *et al.*, 2021), pois essas propriedades estão relacionadas com a mobilidade do adesivo, espaços vazios a serem preenchidos, ancoragem e adesão (IWAKIRI, 2005). Por isso a definição da formulação do adesivo a ser utilizado na colagem deve feita baseada na densidade da madeira (MARRA, 1992; TSOUMIS, 1991), prática que pode minimizar reduções na resistência da linha de cola como observado para *C. odorata* x *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* x *C. odorata* nos pré-tratamentos alta temperatura e ciclo triplo, *Q. paraensis* x *E. schomburgkii* (seco, alta temperatura e ciclo triplo) e *E. uncinatum* x *Q. paraensis* (alta temperatura) no ensaio de flexão estática e *E. uncinatum* x *C. odorata* (seco - cisalhamento).

Essas reduções na resistência podem, em parte, serem atribuídas às diferenças na permeabilidade entre as espécies, já que a maioria das configurações eram formadas por uma espécie de baixa densidade (*C. odorata* ou *E. uncinatum*) em

combinação com uma de alta densidade (*E. schomburgkii* ou *Q. paraensis*). Considerando a complexidade das características anatômicas, os resultados aqui encontrados sugerem que a colagem de espécies com densidades semelhantes pode equilibrar as alterações dimensionais resultantes da absorção e perda de umidade dos painéis EGP híbridos. Uma vez que a tensão gerada nas linhas de cola devido ao inchaço e encolhimento da madeira é proporcional à sua densidade (MORIN-BERNARD *et al.*, 2020). A densidade da madeira influencia significativamente a resistência e durabilidade das ligações (FRIHART, 2005), conseqüentemente, é considerada a propriedade determinante das propriedades físicas e mecânicas dos painéis EGP (ROJAS *et al.*, 2020).

Essas descobertas mostram que é possível maximizar o uso de matérias-primas provenientes de resíduos de madeira sólida tropical na região amazônica, e adicionalmente, minimizar as emissões de carbono associadas à queima desse material. Além disso, na prática, a separação das espécies em grupos de acordo com as densidades das madeiras pode contribuir também para uma melhor definição das indicações de uso dos painéis EGP de cada classe de densidade, permitindo o direcionamento assertivo para aplicações conforme as faixas de resistências requeridas.

5.4 CONCLUSÕES

Na colagem de topo os resultados de resistência à flexão estática e tração paralela de todas as espécies e combinações atenderam aos requisitos mínimos da norma ASTM D 5572 (ASTM, 2019) para todos os pré-tratamentos.

Na colagem lateral os resultados de cisalhamento de todas as espécies e combinações também atenderam aos requisitos mínimos da norma EN 13354 (EN, 2008) para todos os pré-tratamentos.

As espécies *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* apresentaram potencial para produção de painéis EGP, tanto em configurações homogêneas quanto híbridas.

A análise discriminante separou os tratamentos testados em três grupos de espécies/combinações, sendo que a variável mais importante nessa separação foi a densidade aparente 12%.

Portanto, recomenda-se que para a produção de painéis EGP com resíduos de madeira sólida seja feito o agrupamento de espécies baseado na densidade das madeiras a fim de se obter uma mobilidade mais homogênea dos adesivos e, com isso, melhor desempenho da linha de cola.

CAPÍTULO 6

ACABAMENTO SUPERFICIAL DE MADEIRAS AMAZÔNICAS REAPROVEITADAS DE RESÍDUOS DE SERRARIA VISANDO A APLICAÇÃO EM PRODUTOS DE MAIOR VALOR AGREGADO

RESUMO

Mesmo com os incentivos atuais para o reaproveitamento de resíduos madeireiros como matérias-primas secundárias, o desperdício na indústria madeireira amazônica ainda constitui um desafio a ser superado. Uma das possibilidades de reaproveitamento desse material é a produção de painéis EGP, que podem ter maior valor agregado por meio da aplicação de produtos de acabamento que preservem a estética natural das madeiras. Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar o desempenho do acabamento superficial de madeiras de quatro espécies amazônicas provenientes de resíduos de serraria frente ao uso de dois vernizes comerciais, visando a produção de móveis e outros componentes. Foram confeccionadas amostras a partir de costaneiras, aparas e sobras de madeiras das espécies *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erisma uncinatum* e *Qualea paraensis*, que foram revestidas com os vernizes base água e copal. O desempenho do acabamento superficial foi avaliado por meio dos ensaios de brilho, impacto, adesão, abrasão e colorimetria. A partir dos resultados verificou-se que o brilho para todas as espécies foi classificado como semi-fosco para o verniz base água e como semi-brilhante para o verniz copal. A resistência ao impacto foi maior para o verniz copal. De modo geral, a taxa de desgaste foi maior para o verniz base água, implicando em maior resistência à abrasão para o verniz copal, para todas as espécies. O verniz copal apresentou maior adesão, com as espécies *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* apresentando maior resistência à tração. O tipo de falha predominante para todas as espécies revestidas com o verniz base água foi A/B, enquanto para o verniz base água foi A/B e A. A aplicação dos produtos de acabamento promoveu alterações de cor nas madeiras de todas as espécies, que foi classificada predominantemente como muito apreciável e o verniz copal conferiu tonalidade mais escura. O desempenho do acabamento superficial das madeiras reaproveitadas foi considerado satisfatório e com potencial para aplicações em móveis.

Palavras-chave: Reaproveitamento de resíduos madeireiros. Produtos de maior valor agregado. Móveis. Vernizes. Painéis EGP.

6.1 INTRODUÇÃO

As madeiras amazônicas têm sido cada vez mais apreciadas devido a propriedades como cor atraente e alta durabilidade (MESQUITA; PAULA; GONÇALEZ, 2020). Outras propriedades que tornam a madeira um material reconhecido e apreciado são a sua sustentabilidade, o aspecto estético, a elevada resistência e a facilidade de transformação por meio de operações de corte e de reconstituição por colagem (DUARTE, 2004; LANDRY *et al.*, 2024). Apesar disso, a indústria madeireira amazônica é caracterizada pelo desperdício e geração de grande volume de resíduos (VALDIONES *et al.*, 2022).

Atualmente, as políticas ambientais e econômicas têm incentivado o reaproveitamento de materiais lignocelulósicos nos processos produtivos como matérias-primas secundárias (HENKE; LIS; KRYSSTOFIAK, 2024). A maior parte dos resíduos de madeira sólida oriundos do desdobro de toras em serrarias na região amazônica é destinada para a geração de calor, sendo, portanto, subutilizados. Nesse sentido, Henke, Lis e Krystofiak (2022; 2024) relatam que o uso de matérias-primas alternativas para a geração de novos produtos é cada vez mais importante no negócio de painéis de madeira.

Diversos tipos de painéis estão sendo utilizados no processo produtivo de indústrias moveleiras, os quais podem ser produzidos a partir de diferentes combinações de matérias-primas (HENKE; LIS; KRYSSTOFIAK, 2022). Por conseguinte, os resíduos de madeiras amazônicas são um componente importante para os painéis colados lateralmente (EGP), sendo que, depois de selecionados e classificados, esses resíduos podem ser encaminhados para a fabricação de painéis EGP, os quais têm sido utilizados na construção civil, incluindo em pisos, portas e painéis para paredes, bem como na produção de móveis.

A indústria moveleira vem crescendo e se diversificando rapidamente, conduzindo à implementação de uma mudança estratégica dos modelos de negócios tradicionais para modelos baseados na geração de valor (SALCA; KRYSSTOFIAK; LIS, 2017), assim como a indústria da construção civil, que vem sendo alavancada pela importância e sustentabilidade da madeira e dos produtos de madeira engenheirada. Uma das formas de agregar valor aos produtos de madeira é utilizar acabamentos superficiais que preservem a sua cor natural (DUARTE, 2004; SLABEJOVÁ; ŠMIDRIAKOVÁ; FEKIAČ, 2016). Para isso, os autores explicam que revestimentos

transparentes são os mais indicados para proteger, ajustar o brilho e aumentar o valor estético da madeira. Além disso, a aplicação de acabamento superficial promove ainda maior durabilidade dos produtos de madeira, o que impõe a necessidade de avaliação da qualidade do revestimento utilizado (PACE *et al.*, 2018).

A qualidade visual é o aspecto mais importante do ponto de vista dos clientes (HENKE; LIS; KRYSTOFIAK, 2024) e a maioria deles escolhe móveis de madeira com base em sua experiência estética ou em suas impressões à primeira vista (SALCA *et al.*, 2016; HENKE; LIS; KRYSTOFIAK, 2022). Porém, de modo geral, a qualidade do acabamento superficial depende de vários outros fatores (CAKICIER; KORKUT, 2011; BEKHTA *et al.* 2014; SALCA *et al.*, 2016).

Os produtos utilizados para o acabamento superficial de madeiras são denominados coletivamente como revestimentos e têm a função de proteger a madeira e melhorar seu aspecto estético (ROWELL; BONGERS, 2017; LIU *et al.*, 2022; WU *et al.*, 2022). No Brasil os fabricantes de painéis EGP comercializam o produto cru, sem revestimento. A indústria de móveis ou o próprio consumidor final aplicam produtos de acabamento como tintas para madeira de pinus e verniz transparente para madeiras nativas. Atualmente, há pouca ou nenhuma informação sobre a qualidade do acabamento superficial de madeiras nativas reaproveitadas revestidas com vernizes transparentes. Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar o desempenho do acabamento superficial de madeiras provenientes de resíduos de quatro espécies amazônicas frente ao uso de dois vernizes comerciais, visando a produção de móveis e outros componentes.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Material

O material utilizado neste estudo é oriundo de resíduos de madeira sólida (costaneiras, aparas e sobras) do processamento em serraria das espécies *Cedrela odorata*, *Enterolobium schomburgkii*, *Erisma uncinatum* e *Qualea paraensis*, provenientes de Plano de Manejo Florestal Sustentável e, doados pela empresa Rovermad, localizada em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia, Brasil.

Foram coletados resíduos de cinco toras para cada espécie. A seleção das peças de madeira utilizadas na confecção das amostras se deu de forma aleatória.

Foram confeccionadas 12 amostras livres de defeitos para cada espécie com dimensões de 125 mm x 125 mm x 20 mm para os ensaios de brilho, impacto, adesão e colorimetria, e dez amostras de 100 mm x 100 mm x 6 mm, com um furo central de 6 mm de diâmetro, para cada espécie para o ensaio de abrasão (FIGURA 6.1 A, B). O teor de umidade médio foi de 12% e as amostras continham porções de cerne e alborno. Para o acabamento superficial foram utilizados dois vernizes comerciais: Base Água e Copal (FIGURA 6.1 C, D e TABELA 6.1).

FIGURA 6.1 – AMOSTRAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS DE BRILHO, IMPACTO, ADESÃO, COLORIMETRIA (A) E ABRASÃO (B) E VERNIZES BASE ÁGUA (C) E COPAL (D)



FONTE: A autora (2024).

TABELA 6.1 - PROPRIEDADES DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL DE ACORDO COM DADOS FORNECIDOS PELOS FABRICANTES

Propriedades	Base Água	Copal
Marca	Sayerlack	Sparlack
Acabamento	Fosco	Alto Brilho
Densidade (g.cm ⁻³)	1,033 ± 0,020	0,999 - 1,059
Sólidos (%)	29,86 ± 2	30 - 34
Viscosidade	30 ± 5 s em Copo Ford	60 - 70 UK (Krebs)

FONTE: A autora (2024).

6.2.2 Preparo das amostras e aplicação dos vernizes

Antes da aplicação dos produtos de acabamento as amostras foram submetidas ao lixamento, no sentido longitudinal das fibras, utilizando-se a sequência de lixas de grão 150 e 220 (FIGURA 6.2 A, B). A aplicação dos vernizes seguiu as recomendações dos fabricantes, sendo aplicadas três demãos com auxílio de pincel, com tempo de secagem de 2h (Base Água) e 4h (Copal), sem lixamento entre demãos (FIGURA 6.2 C). A espessura do filme úmido foi de 75 μm e foi determinada por meio de um medidor entalhado de metal rígido fino ASTM D4414-95 (ASTM, 2020) (FIGURA 6.2 D).

FIGURA 6.2 – LIXAMENTO (A, B), APLICAÇÃO DO VERNIZ (C) E MEDIDOR DE ESPESSURA UTILIZADO (D)



FONTE: A autora (2024).

Após a aplicação dos vernizes as amostras foram mantidas em temperatura ambiente ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) por sete dias para cura total. Foram utilizadas seis amostras por verniz para espécie nos ensaios de brilho, impacto, adesão e colorimetria e cinco amostras por verniz para cada espécie no ensaio de abrasão.

6.2.3 Avaliação do acabamento superficial

6.2.3.1 Determinação do brilho

A determinação do brilho seguiu as orientações da norma NBR 14535 (ABNT, 2008). Para isso realizou-se seis leituras paralelas à grã por amostra com um medidor de brilho (*Glossmeter*) (FIGURA 6.3). Foram ensaiadas seis amostras por verniz para cada espécie. As leituras foram iniciadas na geometria de 60° e quando os valores obtidos foram superiores a 70 ub repetiu-se a leitura na geometria de 20°. A partir dos valores de ub obtidos nas leituras foi realizada a classificação do brilho (QUADRO 6.1).

FIGURA 6.3 – DETERMINAÇÃO DE BRILHO COM GLOSSMETER



FONTE: A autora (2024).

QUADRO 6.1 - CLASSIFICAÇÃO DO BRILHO DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535 (ABNT, 2008)

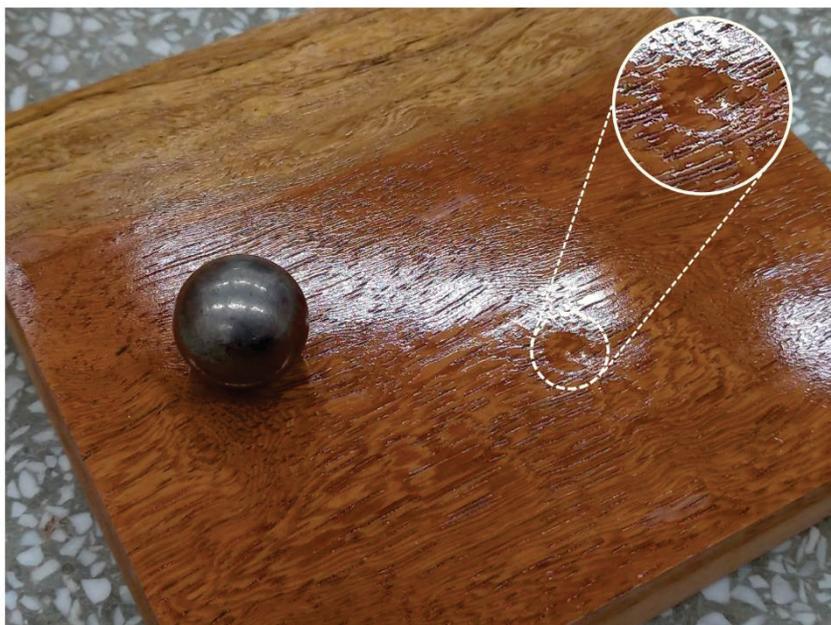
Faixa ub	Classificação
0 a 10	Fosco
11 a 30	Semi-fosco
31 a 70	Semi-brilhante
71 a 90	Brilhante
91 a 100	Brilho espetacular ou alto-brilho

FONTE: NBR 14535 (ABNT, 2008).

6.2.3.2 Resistência ao impacto

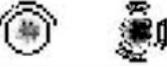
A resistência ao impacto foi avaliada deixando-se cair uma esfera de aço com 19 ± 1 mm de diâmetro e 28 ± 1 g a uma altura de 2,00 m sobre cada amostra em três posições aleatórias (ABNT, 2008) (FIGURA 6.4). Foram ensaiadas três amostras por verniz para cada espécie. Os danos das áreas ensaiadas foram avaliados por meio de uma escala de graduação que varia de 5 a 1, com auxílio de uma lupa com aumento de 10x (QUADRO 6.2).

FIGURA 6.4 – DANO CAUSADO NA AMOSTRA APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE IMPACTO



FONTE: A autora (2024).

QUADRO 6.2 - ESCALA DE GRADUAÇÃO DA ÁREA ENSAIADA DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535 (ABNT, 2008).

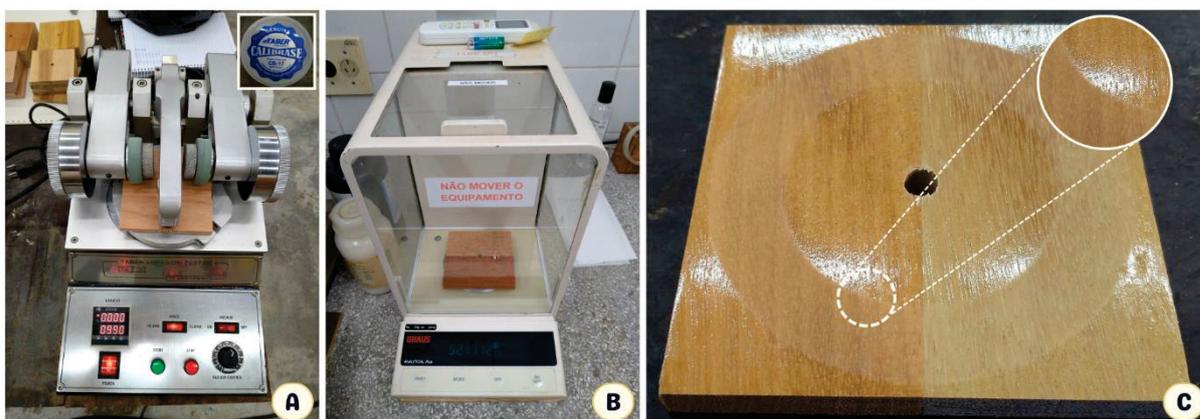
Aparência da área ensaiada		Graduação
Nenhuma trinca ou fissura		5
Uma ou duas trincas ou fissuras circulares envolta da borda da área de impacto		4
Trinca ou fissura moderada ou severa, confinado à área de impacto		3
Trinca ou fissura estendendo-se para fora da área de impacto e/ou leve descascamento do filme de acabamento		2
Mais do que 25% do filme de acabamento removido da área de impacto		1

FONTE: Adaptado de NBR 14535 (ABNT, 2008).

6.2.3.3 Resistência à abrasão

A resistência à abrasão foi avaliada por meio do desgaste dos filmes por um abrasímetro Taber (Texcontrol, modelo TC 110) seguindo as orientações da norma NBR 14535 (ABNT, 2008) (FIGURA 6.5). Foi utilizado rebolo abrasivo CS-17 com carga ajustada de 1000 g, velocidade de 60 rpm e foram realizados 500 ciclos por amostra.

FIGURA 6.5 – ENSAIO DE ABRASÃO EM ABRASÍMETRO (A), PESAGEM DAS AMOSTRAS (B) E DESTAQUE DA ÁREA DE DESGASTE DE AMOSTRAS APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO (C)



FONTE: A autora (2024).

As amostras foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g antes e depois de serem submetidas a abrasão. Foram ensaiadas cinco amostras por

verniz para cada espécie. A taxa de desgaste foi determinada em função da perda de massa conforme a equação 1:

$$TD = \frac{1000(A - B)}{C} \quad 1)$$

Em que:

TD: taxa de desgaste (mg/1000 ciclos);

A: massa da amostra antes do ensaio (mg);

B: massa da amostra após o ensaio (mg);

C: número de ciclos de abrasão realizados.

6.2.3.4 Adesão

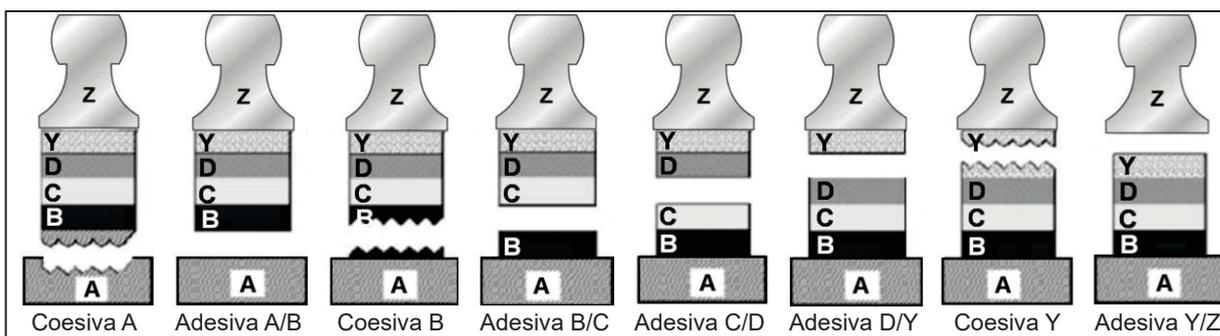
A adesão dos revestimentos aos substratos foi mensurada pela técnica de resistência à tração pelo método *pull-off* – método E, segundo as especificações da norma ASTM D4541 (ASTM, 2022), com um testador de adesão automático PosiTest AT-A *pull-off* (DeFelsko, USA) (FIGURA 6.6 A). Três pinos metálicos (*dollies*) de 20 mm de diâmetro foram fixados em cada amostra (seis para cada espécie) com resina epóxi bicomponente com tempo de cura de 48 horas (FIGURA 6.6 B). Antes da realização do ensaio uma ferramenta de corte foi utilizada para fazer o isolamento da superfície de teste a fim de evitar microfissuras no filme, que poderiam provocar alterações nos valores das leituras (FIGURA 6.6 C, D). Foi utilizada taxa de tração constante de $1,0 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ até o arrancamento do pino metálico da superfície da amostra para a obtenção da resistência máxima do revestimento. Após a realização do ensaio foi estimado visualmente a natureza e porcentagem da falha de adesão, considerando-se um esquema de pintura do substrato A com três demãos de verniz: B, C e D sobre o qual estava fixado o pino metálico Z com auxílio de resina Y (FIGURA 6.7 e QUADRO 6.3).

FIGURA 6.6 – ENSAIO DE ADESÃO COM TESTADOR DE ADESÃO AUTOMÁTICO POSITEST AT-A PULL-OFF (DEFELSKO, USA) (A), PINOS METÁLICOS FIXADOS NA AMOSTRA COM RESINA EPOXI (B) E ISOAMENTO DA SUPERFÍCIE DE TESTE COM FERRAMENTA DE CORTE (C, D)



FONTE: A autora (2024).

FIGURA 6.7 – TIPOS DE FALHA DE ADESÃO



FONTE: Adaptado de NBR 15877 (ABNT, 2010) e Fragata, Ordine e Amorim (2012).

QUADRO 6.3 - DESCRIÇÃO DA NATUREZA DA FALHA DE ADESÃO

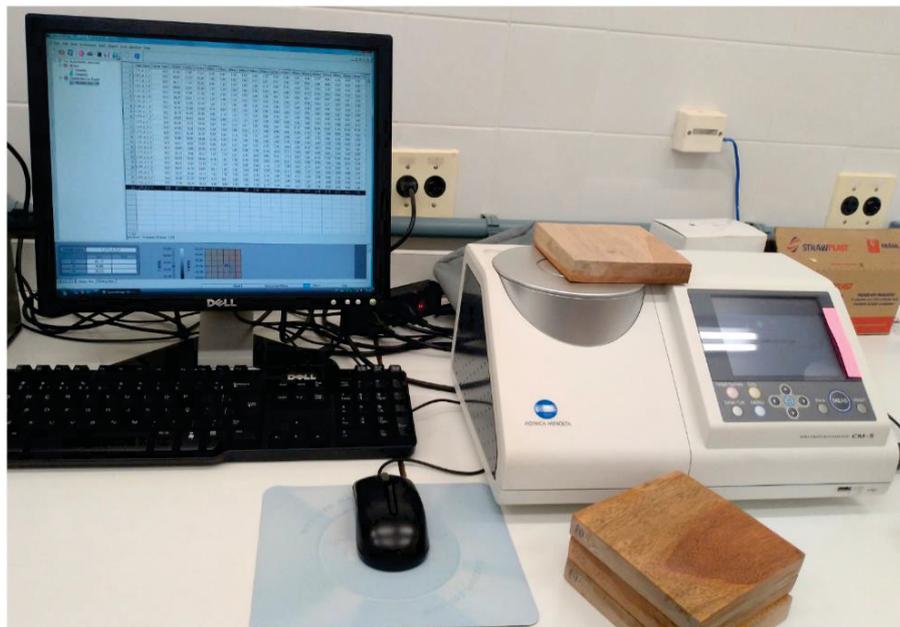
Classificação	Natureza da falha
A	Falha coesiva do substrato. Indica o rompimento da superfície externa do substrato.
A/B	Falha adesiva entre o substrato e a primeira camada do revestimento. Indica baixa adesão entre o revestimento e o substrato.
B	Falha coesiva da primeira camada do revestimento. Indica rompimento de uma camada do revestimento.
B/C	Falha adesiva entre as camadas B e C. Indica descolamento entre as camadas do revestimento.
C/D	Falha adesiva entre as camadas C e D. Indica descolamento entre as camadas do revestimento.
D/Y	Falha adesiva entre a última camada de verniz e o adesivo. Adesivo permaneceu aderido ao pino metálico. Caso ocorra a falha Y/Z, Y ou D/Y com tensão acima da mínima especificada, o ensaio pode ser validado.
Y	Falha coesiva do adesivo. A película permaneceu aderente ao substrato metálico, porém o adesivo descolou da tinta e manteve-se no carretel/madeira.
Y/Z	Falha adesiva entre o adesivo e o pino metálico. Caso ocorra a falha Y/Z, Y ou D/Y abaixo da tensão mínima especificada para o revestimento, o ensaio deve ser repetido ou o tipo de adesivo trocado por outro mais resistente.

FONTE: Adaptado de Fragata, Ordine e Amorim (2012).

6.2.3.5 Caracterização colorimétrica

A mensuração das cores das madeiras foi realizada utilizando-se um espectrofotômetro Konica Minolta CM-5, operando na faixa espectral de 360 nm a 740 nm, com lâmpada de xenônio, diâmetro de abertura de detecção óptica de 8 mm, com ângulo de observação de 10° e fonte de luz D65 (sistema CIE $L^* a^* b^*$ 1976) (FIGURA 6.8). As medições de cor das madeiras foram feitas em dez pontos aleatórios em cada amostra, sendo as leituras realizadas antes e após a aplicação dos produtos de acabamento, perfazendo 60 leituras por verniz para cada espécie e 480 no total.

FIGURA 6.8 – MENSURAÇÃO DAS CORES DAS AMOSTRAS COM ESPECTROFOTÔMETRO KONICA MINOLTA CM-5



FONTE: A autora (2024).

Foram obtidos os valores de luminosidade (L^* - preto (0) e branco (100)) e os espectros das coordenadas cromáticas vermelho-verde (a^* - positivos e negativos, respectivamente) e amarelo-azul (b^* - positivos e negativos, respectivamente). A partir desses dados foram calculados a saturação (C^*) e o ângulo de tinta (h), conforme as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad 2)$$

$$h = \arctang \frac{b^*}{a^*} \quad 3)$$

Em que: C^* = saturação, adimensional;

a^* = coordenada do eixo vermelho-verde;

b^* = coordenada do eixo amarelo-azul;

h^* = ângulo de tinta, em graus.

Adicionalmente, foi calculada a diferença total de cor (ΔE^*) causada pela aplicação dos vernizes, conforme a Equação 4.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad 4)$$

Em que: ΔE^* = variação total da cor;

ΔL^* = variação da luminosidade;

Δa^* e Δb^* = variação das coordenadas cromáticas a^* e b^* .

A variação total de cor (ΔE^*) foi determinada de acordo com a norma ASTM D 2244 (ASTM, 2024) e classificada segundo os critérios de avaliação adotados por Hikita, Toyoda e Azuma (2001) (QUADRO 6.4).

QUADRO 6.4 - CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DE COR (ΔE^*)

Variação de cor (ΔE^*)	Nível de diferença
0,0 - 0,5	Desprezível
0,5 - 1,5	Ligeiramente perceptível
1,5 - 3,0	Notável
3,0 - 6,0	Apreciável
6,0 - 12,0	Muito apreciável

FONTE: Hikita, Toyoda e Azuma (2001).

6.2.4 Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. A normalidade dos dados e a homogeneidade de variâncias foram previamente verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados de brilho, resistência ao impacto e à abrasão e a adesão foram analisados por ANOVA *two-way* para testar o efeito de espécies, vernizes e sua interação. Os dados de colorimetria foram analisados por ANOVA *one-way* para testar o efeito do acabamento. Quando significativo pelo teste F as médias entre as espécies foram comparadas pelo teste *post-hoc* de Tukey e entre os vernizes pelo teste *t* de Student, e apresentadas juntamente com o coeficiente de variação. O nível de significância adotado em todas as análises foi $p \leq 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas no software R v. 4.3.1 (R Core Team, 2024) usando RStudio v. 2024.6.2.561.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Brilho

A ANOVA mostrou efeito significativo para todos os fatores isolados e para a interação entre eles, indicando que a espécie e o tipo de verniz são fatores que influenciam o brilho (TABELA 6.2), sendo, portanto, apenas o último efeito avaliado no desdobramento a seguir.

TABELA 6.2 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O BRILHO

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	Teste F de Fischer	p valor
Espécie (E)	3	279,17	93,06	4,64	0,0035
Verniz (V)	1	155115,22	155115,22	7743,38	0,0000
E x V	3	276,41	92,14	4,60	0,0037
Erro	280	5608,95	20,03		

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Negrito = interação em que o efeito foi avaliado por meio do teste de Tukey. GL = graus de liberdade.

Para o verniz base água não houve diferença estatística entre as espécies, que apresentaram valor médio de brilho variando de 15,90 ub (*Q. paraensis*) a 17,70 ub (*E. schomburgkii*), sendo classificadas como acabamento semi-fosco (TABELA 6.3). Já para o verniz copal houve diferença estatisticamente significativa, de modo que *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* apresentaram os maiores valores médios de brilho, e todas as espécies foram classificadas como acabamento semi-brilhante.

TABELA 6.3 – VALORES MÉDIOS DE BRILHO DAS MADEIRAS DAS ESPÉCIES *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécies	Base Água Brilho (ub)	Classificação	Copal Brilho (ub)	Classificação
<i>C. odorata</i>	17,51 aB (5,27)	Semi-fosco	60,63 bA (11,46)	Semi-brilhante
<i>E. schomburgkii</i>	17,70 aB (3,72)	Semi-fosco	65,79 aA (7,83)	Semi-brilhante
<i>E. uncinatum</i>	16,69 aB (4,44)	Semi-fosco	63,45 aA (11,89)	Semi-brilhante
<i>Q. paraensis</i>	15,90 aB (7,78)	Semi-fosco	63,58 aA (7,89)	Semi-brilhante

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: ub = unidade de brilho. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual. Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas (teste de Tukey) e mesma letra maiúscula nas linhas (teste t de Student) não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados aqui encontrados diferem de Bila *et al.* (2020), que obtiveram valores médios de brilho de 34,92 ub (*B. espiciformis*) e 32,27 ub (*J. globiflora*) para o verniz base água, e 73,95 ub e 66,68 ub, respectivamente, para o verniz copal, sendo predominantemente classificados como semi-brilhantes. Entretanto, o brilho da superfície da madeira acabada depende de vários fatores, como espécie, rugosidade superficial, tipo de verniz e seu fabricante, número de demãos, método de revestimento, ângulo de luz incidente e direção da medição (CAKICIER; KORKUT; KORKUT, 2011; BEKHTA *et al.*, 2014; SLABEJOVÁ; ŠMIDRIAKOVÁ; FEKIAČ, 2016; SALCA *et al.*, 2016; SALCA; KRYSTOFIAK; LIS, 2017; SALCA *et al.*, 2021). Assim, comparações de desempenho de acabamentos superficiais baseadas no brilho são mais úteis quando o objetivo é determinar a vida útil do revestimento. No caso do presente estudo, as informações brilho são importantes para a caracterização da superfície acabada das espécies madeiras avaliadas, visando a produção de móveis.

Como o brilho é uma propriedade estética multidimensional, dados instrumentais podem não representar a percepção sensorial humana (ISO, 2014; ETTWEIN *et al.*, 2017), visto que, as preferências em relação ao acabamento superficial são baseadas em sua maioria nas experiências estéticas dos clientes (HENKE; LIS; KRYSTOFIAK, 2024), o que é muito particular. Salca *et al.* (2021) relatam que mesmo as superfícies de alto brilho sendo muito procuradas na indústria moveleira, as de brilho fosco também mantêm sua importância no mercado de móveis de madeira sólida.

6.3.2 Resistência ao impacto

A ANOVA mostrou que o desempenho do revestimento expresso pela resistência ao impacto foi significativamente influenciado pelo tipo de verniz (TABELA 6.4).

TABELA 6.4 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA AO IMPACTO

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	Teste F de Fischer	p valor
Espécie (E)	3	0,37	0,12	1,65	0,1789
Verniz (V)	1	6,25	6,25	82,92	0,0000
E x V	3	0,37	0,12	1,66	0,1789
Erro	136	10,25	0,07		

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Negrito = interação em que o efeito foi avaliado por meio do teste de Tukey. GL = graus de liberdade.

A resistência ao impacto foi significativamente maior para o verniz copal (TABELA 6.5), que na prática indicou a inexistência de trincas ou fissuras nas superfícies acabadas com esse produto para as espécies avaliadas, conforme a escala de graduação da norma NBR 14535 (ABNT, 2008). O verniz base água apresentou, no geral, uma ou duas trincas ou fissuras circulares envolta da borda da área de impacto (ABNT, 2008).

TABELA 6.5 – RESISTÊNCIA AO IMPACTO PARA OS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL

Verniz	Graduação
Base Água	4,58 b (0,00)
Copal	5,00 a (8,53)

FONTE: A autora (2024).

Esses resultados corroboram com Henke, Lis e Krystofiak (2024), que não observaram efeito do tipo de substrato na classificação de resistência ao impacto, e divergem de Bila *et al.* (2020), que não encontraram diferença na resistência ao impacto entre os vernizes base água e copal para duas espécies de messassas. Slabejoá e Šmidriaková (2022) verificaram que as propriedades de resistência de superfícies acabadas de faia (*Fagus sylvatica* L.), incluindo a resistência ao impacto, estavam muito relacionadas ao tipo de verniz utilizado no revestimento. As autoras não verificaram danos (fissuras) superficiais, mas constataram que os tamanhos das intrusões foram maiores no acabamento à base de água, que diminuíram com o aumento do número de demãos para os três acabamentos superficiais avaliados.

6.3.3 Resistência à abrasão

A ANOVA mostrou efeito significativo para todos os fatores isolados e para a interação entre eles, indicando que a espécie e o tipo de verniz são fatores que influenciam o desempenho do revestimento expresso pela resistência à abrasão, que aqui foi avaliada pela perda de massa (taxa de desgaste) (TABELA 6.6), sendo, portanto, apenas o último efeito avaliado no desdobramento a seguir.

TABELA 6.6 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA À ABRASÃO

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	Teste F de Fischer	p valor
Espécie (E)	3	0,011	0,003	10,026	0,0006
Verniz (V)	1	0,097	0,097	255,706	0,0000
E x V	3	0,012	0,004	10,990	0,0004
Erro	16	0,006	0,000		

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Negrito = interação em que o efeito foi avaliado por meio do teste de Tukey. GL = graus de liberdade.

A taxa de desgaste foi significativamente maior para o verniz base água em todas as espécies (TABELA 6.7). *Q. paraensis* e *E. uncinatum* apresentaram taxas de desgaste significativamente maiores para o verniz base água, enquanto para o verniz copal *C. odorata* e *Q. paraensis* apresentaram os maiores valores médios. Uma imagem comparativa da aparência das superfícies envernizadas após a realização do ensaio de abrasão é apresentada na FIGURA 6.9.

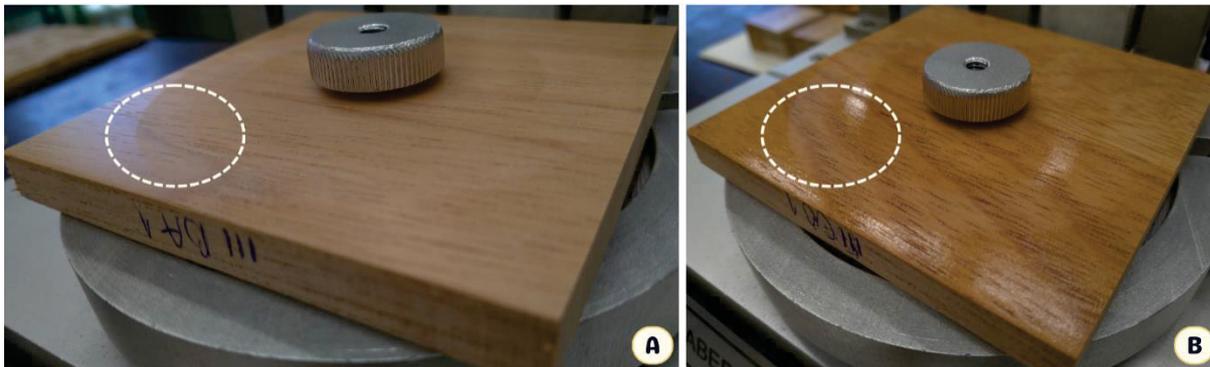
TABELA 6.7 – RESISTÊNCIA À ABRASÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL APLICADOS NAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécies	Base Água	Copal
	TD (mg/1000 ciclos)	
<i>C. odorata</i>	0,2371 Ba (10,53)	0,1845 Ab (11,30)
<i>E. schomburgkii</i>	0,2551 Ba (9,93)	0,1207 BCb (5,20)
<i>E. uncinatum</i>	0,2705 Aba (3,70)	0,0948 Cb (19,51)
<i>Q. paraensis</i>	0,3113 Aa (8,97)	0,1645 ABb (5,55)

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: TD = taxa de desgaste. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas (teste de Tukey) e mesma letra minúscula nas linhas (teste *t* de Student) não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

FIGURA 6.9 - APARÊNCIA DA SUPERFÍCIE ENVERNIZADA DE *C. odorata* COM OS VERNIZES BASE ÁGUA (A) E COPAL (B) APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE ABRASÃO



FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Círculo pontilhado destaca área de desgaste nas amostras.

Uma maior taxa de desgaste do verniz base água em relação ao copal também foi observada por Bila *et al.* (2022). Os autores verificaram que a resistência à abrasão ocorreu no sentido inverso, sendo maior para o verniz copal e menor para o verniz base água, comprovado pelos números de ciclos de abrasão requeridos. Menor resistência à abrasão para painéis aglomerados e MDF revestidos com um acabamento à base de água também foi observada por Akkuş, Akbulut e Candan (2019). Os autores discutem que a resistência à abrasão é influenciada pelas formulações, reações de reticulação, densidades e espessuras das películas secas dos revestimentos. Henke, Lis e Krystofiak (2024) observaram que a perda de massa diminuiu conforme a espessura do filme de revestimento aumentou. Portanto, um revestimento mais espesso leva a uma maior resistência à abrasão (AKKUŞ; AKBULUT; CANDAN, 2019).

Apesar de o verniz base água, reconhecidamente, apresentar menor resistência à abrasão e mecânica, é considerado um produto mais sustentável, de fácil aplicação e menos defeitos durante o processo, além de não apresentar cheiro forte, comparado a verniz à base de solventes. Adicionalmente, mesmo sendo menos resistente mecanicamente, tende a ter maior custo.

6.3.4 Adesão

A ANOVA mostrou efeito significativo para todos os fatores isolados e para a interação entre eles, indicando que a espécie e o tipo de verniz são fatores que influenciam o desempenho do revestimento expresso pela resistência à tração no

ensaio de adesão (TABELA 6.8), sendo, portanto, apenas o último efeito avaliado no desdobramento a seguir.

TABELA 6.8 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O ENSAIO DE ADESÃO

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	Teste F de Fischer	p valor
Espécie (E)	3	114,00	38,00	48,58	0,0000
Verniz (V)	1	79,20	79,20	101,24	0,0000
E x V	3	50,90	16,97	21,69	0,0000
Erro	136	106,38	0,78		

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: Negrito = interação em que o efeito foi avaliado por meio do teste de Tukey. GL = graus de liberdade.

O verniz copal apresentou resistência à tração significativamente superior para a maioria das espécies avaliadas, e *C. odorata* não diferiu estatisticamente entre os vernizes (TABELA 6.9). *E. schomburgkii* apresentou resistência à tração significativamente superior para o verniz base água, seguida de *Q. paraensis* e *C. odorata*, que não diferiram entre si. Enquanto para o verniz copal *Q. paraensis* e *E. schomburgkii* apresentaram as maiores resistências médias à tração, não diferindo estatisticamente entre si. Uma imagem comparativa da aparência das superfícies envernizadas após a realização do ensaio de adesão é apresentada na FIGURA 6.10.

Com relação à natureza da falha, para o verniz base água o tipo de falha predominante foi A/B (TABELA 6.9). Enquanto para o verniz copal *C. odorata* e *E. Schomburgkii* apresentaram falha de natureza adesiva A/B e *E. uncinatum* e *Q. paraensis* falha coesiva A.

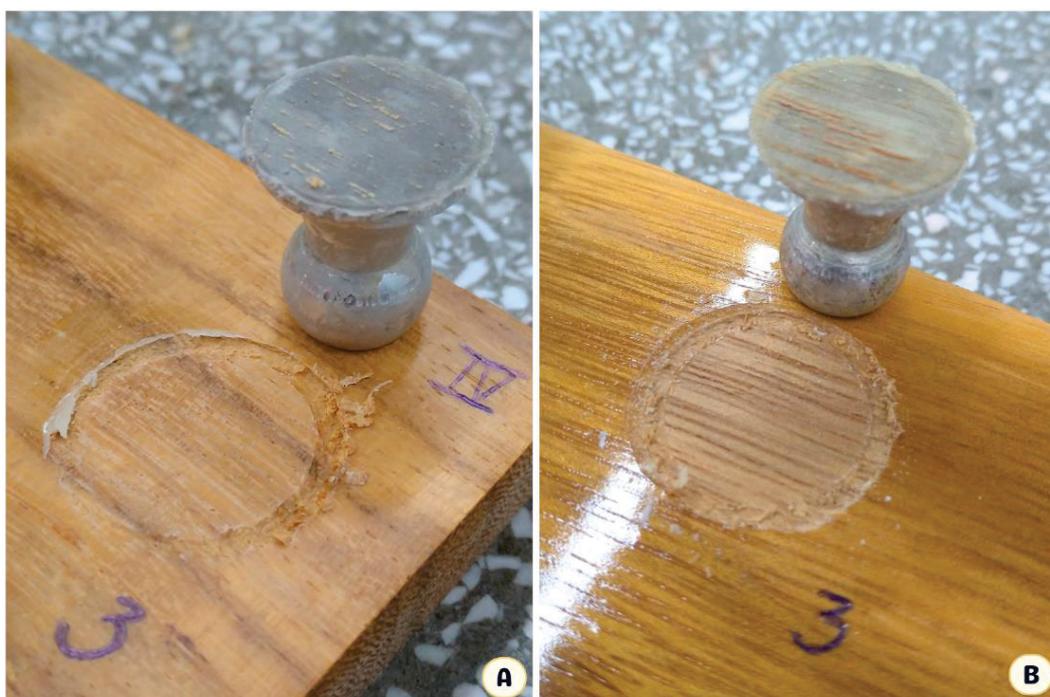
TABELA 6.9 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E NATUREZA DA FALHA DE ADESÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL APLICADOS NAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Espécies	Base Água		Copal	
	RT (MPa)	Falha (%)	RT (MPa)	Falha (%)
<i>C. odorata</i>	5,70 Ba (14,60)	17,50 A 82,50 A/B	5,50 Ca (14,66)	25,56 A 67,50 A/B 6,94 Y/Z
<i>E. schomburgkii</i>	7,27 Ab (16,58)	8,61 A 89,72 A/B 1,67 Y/Z	8,22 Aa (8,82)	26,11 A 65,00 A/B 8,89 Y/Z
<i>E. uncinatum</i>	4,43 Cb (16,46)	31,94 A 67,78 A/B 0,28 Y/Z	7,24 Ba (11,55)	94,44 A 5,56 A/B
<i>Q. paraensis</i>	5,94 Bb (15,59)	10,00 A 90,00 A/B	8,32 Aa (11,04)	58,89 A 38,06 A/B 0,83 C/Y 2,22 Y/Z

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: RT = resistência à tração. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas (teste de Tukey) e mesma letra minúscula nas linhas (teste *t* de Student) não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

FIGURA 6.10 – APARÊNCIA DA SUPERFÍCIE ENVERNIZADA DE *E. schomburgkii* COM OS VERNIZES BASE ÁGUA (A) E COPAL (B) APÓS REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE ADESÃO



FONTE: A autora (2024).

Menor adesão para o verniz à base de água também foi observada por Bila *et al.* (2020) para *B. spiciformis* (2,83 MPa) e *J. globiflora* (3,41 MPa), enquanto para o verniz copal os autores obtiveram resistências à tração de 4,16 MPa e 4,17 MPa, respectivamente. De acordo com Vitosyté, Ukvalbergiené e Keturakis (2012), as diferenças na resistência adesiva são significativamente mais relacionadas ao tipo de verniz. Nesse sentido, Zhu *et al.* (2024) comentam que propriedades mecânicas pobres, baixa dureza e velocidade de cura lenta são algumas das desvantagens dos revestimentos à base de água. Foi relatado também que os revestimentos à base de água são propensos a penetrar na madeira em menor extensão e por isso tendem a exibir resistências de adesão mais baixas em relação aos à base de solvente (De MEIJER; Van de VELDE; MILITZ, 2001; MEIJER, 2005).

Comparativamente, os valores médios de resistência à tração encontrados no presente estudo foram ligeiramente superiores aos de Bila *et al.* (2020). Essas variações são esperadas pois a resistência à tração é influenciada pelo tipo de adesivo, tamanho do acessório de carga, tempo de cura do revestimento, taxa de tração, condições ambientais, dentre outros (ASTM, 2022).

A literatura relata que os valores de resistência de adesão para revestimentos de madeiras geralmente variam de 2 MPa a 5 MPa, podendo atingir até 10 MPa (SONMEZ; BUDAKCI; BAYRAM, 2009; KESIK; AKYILDIZ, 2015; HAZIR; KOC, 2019), sendo sugerido como um mínimo de adesão aceitável o valor de 2,5 MPa e de mais de 5 MPa para uma adesão excelente (OBLAK; KRICEJ; LIPUŠCEK, 2006). Nesse sentido, a resistência de adesão encontrada no presente estudo pode ser considerada, no geral, excelente, visto que os valores de resistência à tração variaram de 4,43 MPa a 8,32 MPa.

O tipo de falha A/B (entre o substrato e a primeira camada de revestimento) é considerado um indicativo de baixa adesão, e pode estar relacionado a diversos fatores, como características de umectação do substrato, formulação do revestimento, tempo de cura, espessura da película, preparo da superfície do substrato e do pino metálico (FRAGATA; ORDINE; AMORIM, 2012). Portanto, os autores alertam que a análise da falha de adesão não pode ser considerada isoladamente na avaliação das propriedades de adesão e coesão. Nesse contexto, Cheumani Yona *et al.* (2021) discutem que quando o modo de falha predominante é do tipo adesivo, os valores obtidos no ensaio de *pull-off* refletem na verdade a resistência de adesão dos revestimentos.

6.3.5 Colorimetria

Os valores médios das variáveis cromáticas das superfícies acabadas de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* estão apresentados na TABELA 6.10. Todas as variáveis, exceto *h*, foram estatisticamente diferentes entre os vernizes para todas as espécies.

TABELA 6.10 – VARIÁVEIS CROMÁTICAS DA SUPERFÍCIE ACABADA DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis*

Verniz	L*	a*	b*	C*	h
<i>C. odorata</i>					
<i>In natura</i>	65,61 a (1,94)	11,87 b (7,40)	22,92 b (5,98)	25,82 b (6,21)	62,64 b (1,02)
Base Água	62,00 b (1,33)	12,96 b (5,87)	23,93 b (3,74)	27,22 b (4,09)	61,59 b (1,27)
Copal	54,73 c (3,80)	15,71 a (6,19)	32,86 a (2,30)	36,44 a (2,58)	64,45 a (1,94)
<i>E. schomburgkii</i>					
<i>In natura</i>	63,29 a (2,93)	9,12 c (6,11)	28,30 c (6,74)	29,75 c (6,59)	72,04 a (0,90)
Base Água	57,99 b (4,50)	10,83 b (6,46)	32,79 b (8,23)	34,55 b (7,95)	71,62 a (1,09)
Copal	52,82 c (4,69)	13,35 a (6,21)	41,15 a (6,81)	43,29 a (6,46)	71,89 a (1,49)
<i>E. uncinatum</i>					
<i>In natura</i>	58,56 a (2,87)	8,36 b (21,80)	17,37 c (3,33)	19,40 c (6,04)	64,79 a (6,89)
Base Água	52,66 b (1,31)	10,12 b (10,49)	18,60 b (3,32)	21,28 b (4,60)	61,73 a (3,03)
Copal	41,03 c (10,49)	13,88 a (19,46)	25,15 a (1,73)	28,93 a (3,68)	61,33 a (8,28)
<i>Q. paraensis</i>					
<i>In natura</i>	61,99 a (2,23)	11,13 c (3,71)	22,93 c (2,45)	25,50 c (2,19)	64,16 a (1,42)
Base Água	56,28 b (2,49)	12,98 b (2,81)	26,25 b (2,79)	29,29 b (2,68)	63,71 a (0,72)
Copal	48,67 c (3,82)	14,79 a (2,04)	31,17 a (4,14)	34,51 a (3,44)	64,59 a (1,52)

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: L* = luminosidade; a* = coordenada do eixo cromático vermelho-verde; b* = coordenada do eixo cromático azul-amarelo; C* = saturação ou cromaticidade; h = ângulo de tinta. Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna para cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em percentual.

A luminosidade indica se a madeira é escura ($L^* \leq 56$) ou clara ($L^* > 56$) (CAMARGOS e CONZALES, 2001). Logo, as cores naturais das madeiras de todas as espécies foram consideradas claras, e à medida que foram revestidas com os vernizes, escureceram, sendo essa alteração de cor mais evidente para o verniz copal, que apresentou os menores valores médios, em todas as espécies.

Com relação às coordenadas cromáticas, as variáveis a^* e b^* exibiram valores positivos, para todas as espécies, apresentando cromaticidade vermelha e amarela (LIMA *et al.*, 2013). A coordenada a^* é considerada a mais representativa para a alteração de cor da madeira entre espécies (GARCIA *et al.*, 2014). O valor de a^* aumentou com a aplicação dos vernizes base água e copal, nesta sequência, para todas as espécies, intensificando a coordenada cromática vermelha.

A coordenada b^* seguiu o mesmo padrão de a^* , intensificando a tonalidade amarela na sequência: *in natura* > base água > copal. O mesmo comportamento foi observado por Bila *et al.* (2020) ao avaliar as superfícies acabadas de *B. spiciformis* e *J. globiflora* revestidas com os vernizes à base de água, copal e poliuretano; e por Naide *et al.* (2022) ao avaliar a superfície da madeira de *E. schomburgkii* revestida com formulações de verniz a base de água com adição de celulose nanofibrilada.

Resultados com padrões similares são bem comuns na literatura, em que as variáveis a^* , b^* e C^* têm seus valores aumentados após aplicação de produtos de acabamento, enquanto os da variável L^* diminuem, levando ao escurecimento da madeira (BILA *et al.*, 2020; MESQUITA; PAULA; GONÇALEZ, 2020; NAIDE *et al.*, 2022; SAHIN *et al.*, 2024).

A variação total de cor (ΔE^*), determinada com base nas diferenças entre as coordenadas de cor e a luminosidade das amostras acabadas em relação às amostras *in natura* (controle), é apresentada na TABELA 6.11, e as diferenças visuais de cor podem ser observadas na FIGURA 6.11. Com exceção de *C. odorata* (base água), todas as espécies revestidas com os vernizes base água e copal apresentaram variação de cor classificada como muito apreciável, o que demonstra alta alteração da cor natural das madeiras.

TABELA 6.11 – VARIAÇÃO DE COR DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis* IN NATURA E COM APLICAÇÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL

Espécie	Verniz	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	Classificação ¹
<i>C. odorata</i>	Base Água	3,34	-1,05	-1,02	4,37	Apreciável
	Copal	11,16	-3,87	-9,94	15,65	Muito apreciável
<i>E. schomburgkii</i>	Base Água	5,69	-1,85	-4,21	8,73	Muito apreciável
	Copal	10,07	-4,08	-13,14	17,92	Muito apreciável
<i>E. uncinatum</i>	Base Água	5,48	-1,41	-1,39	7,40	Muito apreciável
	Copal	17,87	-5,40	-7,50	20,26	Muito apreciável
<i>Q. paraensis</i>	Base Água	5,30	-1,81	-3,34	6,76	Muito apreciável
	Copal	13,74	-3,69	-8,23	16,73	Muito apreciável

FONTE: A autora (2024).

LEGENDA: ΔL^* = variação média de luminosidade; Δa^* = variação média da coordenada cromática vermelho-verde; Δb^* = variação média da coordenada cromático azul-amarela; ΔE = variação total da cor; ¹Classificação da variação da cor, proposta por Hikita, Toyoda e Azuma, (2001), baseada em níveis de percepção.

Mesmo sendo transparente, os produtos de acabamento aplicados sobre a superfície podem alterar a cor natural das madeiras (LIMA *et al.*, 2013), sendo que o verniz transparente acentua a cor natural da madeira (DUARTE, 2004), o que justifica a alteração de cor apresentada pelas madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* após a aplicação dos vernizes base água e copal.

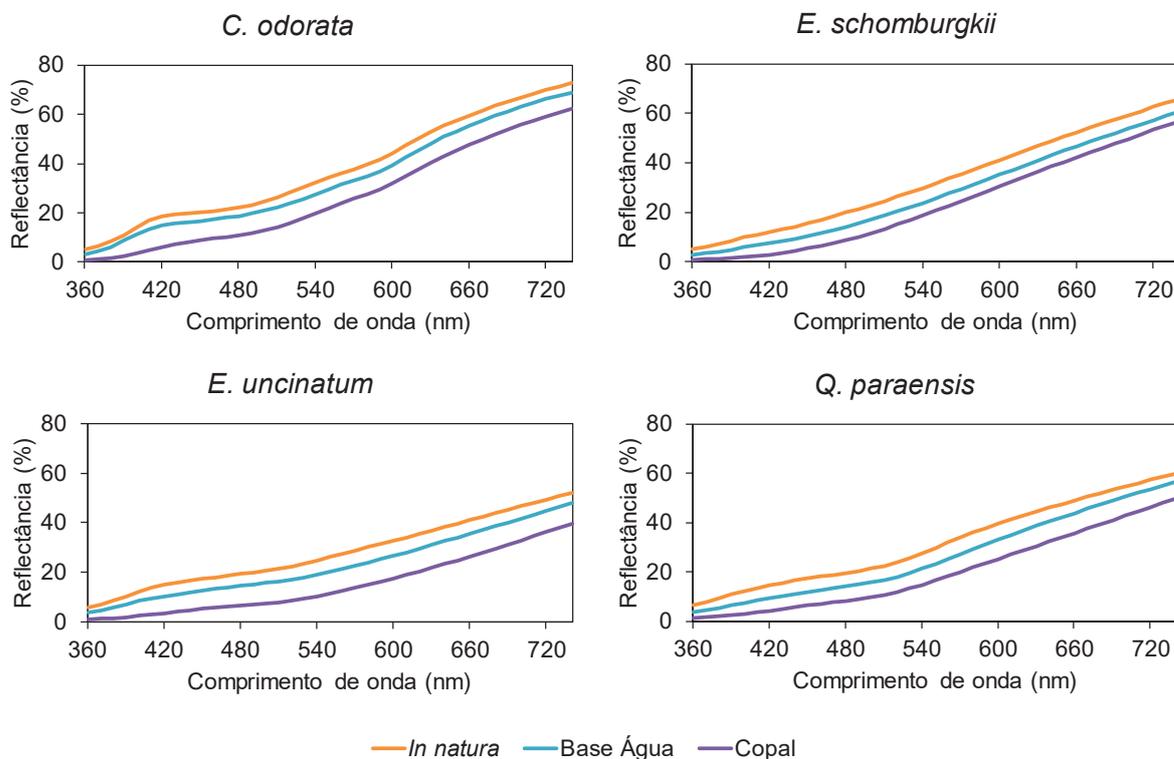
FIGURA 6.11 – MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis* IN NATURA E COM APLICAÇÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL

Espécies	<i>In natura</i>	Base Água	Copal
<i>C.odorata</i>			
<i>E. schomburgkii</i>			
<i>E. uncinatum</i>			
<i>Q. paraensis</i>			

FONTE: A autora (2024).

As curvas de reflectância, mostrando uma clara distinção das curvas controle das madeiras de todas as espécies em relação às superfícies acabadas com os vernizes base água e copal são mostradas na FIGURA 6.12. De modo geral, houve redução na reflectância das superfícies acabadas de todas espécies após a aplicação dos vernizes base água e copal, com esse último apresentando os menores valores médios de reflectância.

FIGURA 6.12 – CURVAS DE REFLECTÂNCIA DAS MADEIRAS DE *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* E *Q. paraensis* IN NATURA E COM APLICAÇÃO DOS VERNIZES BASE ÁGUA E COPAL



FONTE: A autora (2024).

Resultados com o mesmo padrão foram reportados por Silva e Pastore (2004), Silva, Pastore e Pastore Júnior (2007), Mesquita, Paula e Gonzalez (2020) e Silva (2021) ao avaliarem as superfícies de espécies de madeiras tropicais após aplicação de vernizes. Os autores também observaram o escurecimento das madeiras com a diminuição na intensidade da luz refletida após aplicação dos produtos de revestimento.

6.4 CONCLUSÕES

Quando revestidas com o verniz base água o brilho do acabamento das madeiras de *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* foi classificado como semi-fosco e como semi-brilhante quando revestidas com o verniz copal.

O verniz copal apresentou melhor resistência ao impacto.

O verniz copal apresentou melhor resistência à abrasão, exibindo menor taxa de desgaste das madeiras. *C. odorata* e *E. schomburgkii* apresentaram melhor

resistência à abrasão para o verniz base água. *C. odorata* e *Q. paraensis* apresentaram melhor resistência à abrasão para o verniz copal.

O verniz copal apresentou melhor adesão, exibindo maior resistência à tração para todas as espécies. *E. schomburgkii* apresentou maior resistência à tração para os vernizes base água e copal e *Q. paraensis* maior resistência à tração para o verniz copal.

A aplicação dos vernizes base água e copal causou escurecimento e diminuição na intensidade da luz refletida nas madeiras de todas as espécies, que foram classificadas predominantemente como muito apreciável.

O desempenho do acabamento superficial das madeiras oriundas de resíduos frente ao uso dos vernizes base água e copal foi considerado satisfatório e com potencial de aplicações em produtos de maior valor agregado, como móveis e outros componentes.

CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

As madeiras apresentaram densidades de média (*C. odorata* e *E. uncinatum*) a pesada (*E. schomburgkii* e *Q. paraensis*), com cerne apresentando maior densidade em relação ao alburno. A madeira de *C. odorata* foi considerada muito estável, *E. schomburgkii* e *Q. paraensis* consideradas de média instabilidade e *E. uncinatum* muito instável. O teor de extrativos foi baixo a intermediário, com as madeiras de alburno apresentando os menores percentuais. Todas as espécies apresentaram baixos teores de cinzas e o pH foi compatível com os valores comumente encontrados para espécies tropicais. As madeiras das espécies *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* apresentaram diferenças de cor entre cerne e alburno, sendo caracterizadas por tons de rosa a amarronzados para o cerne e oliva-amarelados a rosa-acinzentados para o alburno.

A resistência das emendas de topo nas colagens individuais (EGP convencional) superou os valores de referência (ASTM D 5572) em todos os pré-tratamentos nos ensaios de flexão e tração para todas as espécies, atingindo valores de resistência de 1,5 vezes (*E. uncinatum* – seco – tração) a 8,1 vezes (*Q. paraensis* – ciclo triplo – flexão) superiores aos requisitos normativos. Por isso o adesivo PVA na gramatura de 180 g.m⁻² foi considerado suficiente e adequado para a colagem de emendas de topo. Na colagem lateral, apenas o adesivo EPI na gramatura de 180 g.m⁻² atendeu ao pré-requisito do 5º percentil inferior (2,5 MPa) para todas as espécies no pré-tratamento úmido.

A resistência das emendas de topo (EGP híbrido) superou os valores de referência (ASTM D 5572) em todos os pré-tratamentos nos ensaios de flexão e tração para todas os tratamentos, atingindo valores de resistência de 1,5 vezes (*E. uncinatum* – seco – tração) a 8,0 vezes (*E. schomburgkii* – ciclo triplo – flexão) superiores aos requisitos normativos. Na colagem lateral todos os tratamentos atenderam ao pré-requisito do 5º percentil inferior, que variou de 3,59 (*Q. paraensis*) a 8,0 (*E. schomburgkii*) no pré-tratamento úmido. Os valores de resistências das emendas/juntas híbridas foram balanceados e foram ligeiramente superiores aos requisitos normativos.

Na análise multivariada duas funções discriminantes foram determinadas para cada pré-tratamento nos ensaios de flexão, tração e cisalhamento e a primeira função apresentou o maior percentual de variância total explicada. A variável densidade

aparente 12% apresentou maior correlação canônica nessa função em todos os pré-tratamentos de todos os ensaios, sendo, a variável mais importante para a separação dos três grupos de espécies/combinções pela análise discriminante.

O desempenho do acabamento superficial em relação ao brilho do verniz base água foi classificado como semi-fosco e do copal como semi-brilhante. O verniz copal apresentou maior resistência ao impacto e à abrasão e maior adesão. A cor das madeiras de todas as espécies diminuiu a intensidade da luz refletida que escureceram após a aplicação dos vernizes e a variação de cor foi classificada como muito apreciável. O desempenho do acabamento superficial das madeiras avaliadas foi satisfatório.

De maneira geral, os resíduos das espécies *C. odorata*, *E. schomburgkii*, *E. uncinatum* e *Q. paraensis* demonstraram potencial tecnológico para a produção de painéis EGP, constituindo uma iniciativa para o aproveitamento dos resíduos madeireiros para geração de produtos de maior valor agregado na região amazônica. Madeiras de alburno e de transição, apesar das diferenças em suas propriedades em relação ao cerne, também apresentaram resultados promissores. Contudo, a utilização desses materiais requer maior atenção e planejamento, visto que, como o alburno é um material que se degrada mais rapidamente, devido suas características intrínsecas, o tempo de estocagem das toras em pátio é um fator determinante para a viabilidade de uso do alburno e peças de transição.

Por fim, são necessárias pesquisas que forneçam informações sobre o ganho de rendimento proporcionado pelo aproveitamento de resíduos de madeira sólida oriundos do desdobro em serrarias na região amazônica para a produção de painéis EGP, bem como, a avaliação da viabilidade econômica do processo produtivo de painéis EGP utilizando esses resíduos.

REFERÊNCIAS GERAIS

AGUIAR, D. L.; JÚNIOR, G. B.; JANKOWSKY, I. P.; CANDATEN, L.; CAVALCANTE, A. K. d. L.; KLINGENBERG, D.; SOUZA, E. C. de; SURDI, P.; MOUTINHO, V. H. P. Evaluation of the oriented strand board properties produced using tropical wood mixtures. **Forests**, v. 14, n. 11, 2143, 2024. DOI: 10.3390/f14112143

AKKUŞ, M.; AKBULUT, T.; CANDAN, Z. Application of electrostatic powder coating on wood composite panels using a cooling method. Part 1: investigation of water intake, abrasion, scratch resistance, and adhesion strength. **Bioresources**, Raleigh, v. 14, n. 4, p. 9557-9574, 2019. DOI: 10.15376/biores.14.4.9557-9574.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesão e adesivos. *In*: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S.; TRIANOSKI, R. Adesão e adesivos. *In*: IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. (Eds.). **Painéis de madeira reconstituída**. 2 ed. Curitiba: FUPEF, 2020. p. 10-36.

ALMEIDA, C. C. F. **Avaliação da qualidade da colagem da madeira de *Cupressus lusitânica* Miil. para a produção de painéis colados lateralmente (Edge glued panel - EGP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, p. 142. 2015.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM D 5572 - 95 (Reapproved 2019)**: Standard specification for adhesives used for finger joints in nonstructural lumber products. West Conshohocken, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4414 - 95**: Standard practice for measurement of wet film thickness by notch gages. West Conshohocken, 2020. 3 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4541 - 22**: Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers. West Conshohocken, 2022. 18p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2244 - 23**: Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. West Conshohocken, 2024. 12 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5572**: Standard specification for adhesives used for finger joints in nonstructural lumber products. West Conshohocken, 2005. 17 p.

ANDERSON, T. W. **An introduction to multivariate statistical analysis**. 3th ed. New York: J. Wiley, 2003. 752 p.

ARAÚJO, R. D. de; NASCIMENTO, C. C. do; NASCIMENTO, C. S. do; SANTOS, J. dos; SILVA, G. M.; SILVA, C. E. da. Physical-mechanical characterization of Amazonian woods by nondestructive methodology for the manufacture of EGP (Edge Glued Panel). **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 10, n. 3, p. 199-208, 2022. DOI: 10.31686/ijer.vol10.iss3.3682

ARAUJO, R. D. de; SANTOS, J. dos; NASCIMENTO, C. C. do; NASCIMENTO, C. S. do; BARROS, S. V. dos S.; LIMA, M. da P. Surface roughness of edge glued panels (EGP) of amazon managed species. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43: e019119, 2019. DOI: 10.1590/1413-7054201943019119

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2009 ano base 2008**. Curitiba, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2019 ano base 2018**. Curitiba, 2019. Disponível em: <https://abimci.com.br/wp-content/uploads/2022/09/Estudo-Setorial-2019.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2022**. Curitiba, 2022. Disponível em: <https://abimci.com.br/publicacoes/estudo-setorial/>. Acesso em: 17 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14535**: Móveis de madeira - requisitos e ensaios para superfícies pintadas. 2 ed. Rio de Janeiro, 2008. 32p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15877**: Pintura industrial - Ensaio de aderência por tração. Rio de Janeiro, 2010. 14 p.

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

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

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MULLER, M. D.; COUTO, L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para a produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & energia** v. 2, n. 2, p 141-158, 2005.

BEKHTA, P.; PROSZYK, S.; LIS, B.; KRYSZTOFIK, T. Gloss of thermally densified alder (*Alnus glutinosa* Goertn.), beech (*Fagus sylvatica* L.), birch (*Betula verrucosa* Ehrh.), and pine (*Pinus sylvestris* L.) wood veneers. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, p. 799-808, 2014. DOI: 10.1007/s00107-014-0843-3

BIERMANN, C. J. **Handbook of pulping and papermaking**. Elsevier, 1996.

BILA, N. F.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 455-464, 2016. DOI: 10.5380/rf.v46i3.36311

BILA, N. F.; TRIANOSKI, R.; EGAS, A. F.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M. P. Evaluation of the quality of surface finish of messassa wood for three types of varnishes. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 2, 2020. DOI: 10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n2.bila

BILA, N. F.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; EGAS, A.F.; MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P. Bonding quality of two lesser-used wood species *Brachystegia spiciformis* and *Julbernardia globiflora* from Mozambique. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Chile, v. 23, n. 41, p. 1-12, 2021. DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100441

BLANCHET, P.; BRETON, C. Wood productions and renewable materials: the future is now. **Forests**, Switzerland, v. 11, n. 6: p. 657, 2020. DOI: 10.3390/f11060657

BRASIL. Resolução nº 474, de 06 de abril de 2016. Altera a Resolução nº 411, de 6 de maio de 2009, que dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria, e dá outras providências.. **Resolução Conama Nº 474**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 06 abr. 2016. Disponível em: [BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley, 689 p. 1963.](http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138205#:~:text=Altera%20a%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20n%C2%BA%20411,de%20rendimento%20volum%C3%A9tricos%2C%20inclusive%20carv%C3%A3o. Acesso em: 31 jul. 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

BURTIN, P.; JAY-ALLEMAND, C.; CHARPENTIER, J.; JANIN, G. Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J. regia* and hybrid *J. nigra* 23 × *J. regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. **Trees**, v. 12, p. 258-264, 1998.

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

C.T. DONOVAN ASSOCIATES INC. Opportunities and constraints associated with using wood waste for fuel in Connecticut. Office of Policy and Management, Energy Division. Connecticut, 1990.

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

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. Colorimetria aplicada como instrumento para elaboração de uma tabela de cores para madeira. **Brasil Florestal**, v. 71, p. 30-41, 2001.

CAMPELO, S.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; AGUIAR, O. R. de. Utilização da madeira de *Genipa americana* para produção de painéis de colagem lateral – EGP. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 129-135, 2017. DOI: 10.5380/rf.v47i1.48453

CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S. R. Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p. 105-118, 2005. DOI: 10.5902/198050981828

CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT (CTBA). **Guide de recommandations**. Les finitions aqueuses en ameublement. 2007. 39 p.

CHEUMANI YONA, A. M.; ŽIGON, J.; DAHLE, S.; PETRIČ, M. Study of the adhesion of silicate-based coating formulations on a wood substrate. **Coatings**, v. 11, n. 61, 2021. DOI: 10.3390/coatings11010061

CLEMENT, C. R.; HIGUCHI, N. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 58, n. 3, p. 44-49, 2006.
cofordconnectsnotes/00675CCNPP43Revised091216.pdf. Acesso em: 25 nov. 2024.

CONTI, A. C. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus* sp.** 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

COOL, J. **Optimisation de l'usinage de finition du bois d'épinette noire pour fins d'adhésion**. 276 p. Thesis (Philosophiae Doctor en Sciences du Bois) - Département des Sciences du Bois et de la Forêt, Université Laval, Québec, 2011.

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

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. **Madeiras comerciais do Brasil**: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais: Brasília. 2010. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/en-us/chave-interativa-de-identificacao>. Acesso em: 05 jun. 2024.

COSME Jr., L.; TURCHEN, L. M.; GUEDES, R. N. C. Chemical constituents of tropical woods and resistance to the invasive drywood termite *Cryptotermes brevis*. **Journal of Applied Entomology**, v. 144, n. 4, p. 270-277, 2020. doi: 10.1111/jen.12729

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**, Mamourah, v. 5, n. 6, p. 4929 -4937, 2014.

de MEIJER, M.; van de VELDE, B.; MILITZ, H. Rheological approach to the capillary penetration of coating into wood. **Journal of Coatings Technology**, v. 73, p. 39-51, 2001. DOI: 10.1007/BF02698437

DE MOURA, L. F.; HERNÁNDEZ, R. E. Evaluation of varnish coating performance for three surfacing methods on sugar maple wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 56, n. 11-1, p. 130-136, 2006.

DIAS JÚNIOR, A. F.; DOS SANTOS, P. V.; PACE, J. H. C.; DE CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 93-107, 2013. DOI: 10.12953/2177-6830.v04n01a08

DIAS JÚNIOR, A. F.; LANA, A. Q.; SANTOS, P. V. DOS; CARVALHO, A. M. DE; SOUZA, N. D. DE; BRITO, J. O. Propriedades físicas e acabamento superficial da madeira de eucalipto termicamente tratada. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, n. 3, p. 270-276, 2015. DOI: 10.4322/rca.2010

DUARTE, C. Acabamentos em madeira. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 16, n. 2-3, p. 38-43, 2004.

DZURENDA, L. Natural variability of the color of beech wood in the color space CIE L*a*b*. **Forests**, v. 14, n. 6, 1103, 2024. DOI: 10.3390/f14061103

ETTWEIN, F.; ROHRER-VANZO, V.; LANGTHALER, G.; WERNER, A.; STERN, T.; MOSER, O.; LEITNER, R.; REGENFELDER, K. Consumer's perception of high gloss furniture: instrumental gloss measurement versus visual gloss evaluation. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, p. 1009-1016, 2017. DOI: 10.1007/s00107-017-1197-4

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 326-1**: Wood-based panels – Sampling, cutting and inspection – Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. Brussels, 1994.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13353**: Solid wood panels (SWP) – Requirements. Brussels, 2008a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13354**: Solid wood panels (SWP) – Bonding quality. Brussels, 2008b.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. 3. Ed. Lavras: UFLA, 2018. 624 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FERREIRA, G.; BRITO, T. M.; SILVA, J. G. M. da; MININI, D.; DIAS JÚNIOR, A. F.; ARANTES, M. D. C.; BATISTA, D. C. Wood waste pellets as an alternative for energy Generation in the Amazon Region. **BioEnergy Research**, v. 16, p. 472-483, 2024. DOI: 10.1007/s12155-022-10446-w

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FONTE, A. P. N. da. **Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial**. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R. Efeito da gramatura sobre a qualidade da colagem lateral da madeira de *Tectona grandis*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 14, n. 3, p. 224-233, 2015. DOI: 10.5965/223811711432015224

FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; ANJOS, R. A. M. dos. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japonica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, 2017. DOI: 10.5965/223811711632017277

FRAGATA, F. L.; ORDINE, A. P.; AMORIM, C. C. Ensaio de adesão em tintas e esquemas de pintura pelo método de resistência à tração – valores típicos de tensão de ruptura, tipos de falha e comentários técnicos. *In*: INTERCORR, 2012, Salvador. **Anais...** Salvador: ABRACO, 2012.

FRANÇA, M. C.; ZEN, L. R.; JUIZO, C. G. F.; CREMONEZ, V. G.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Production of joints of *Eucalyptus* sp. to obtain Edge Glued Panels. **Floresta e Ambiente**, v. 27, 2020. DOI: 10.1590/2179-8087-FLORAM-2018-0004

FRIHART, C. R. Adhesive bonding and performance testing of bonded wood products. **Journal of ASTM International**, v. 2, n. 7, 2005. DOI: 10.1520/jai12952 article 12952.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. *In*: Forest Products Laboratory. **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. Ed. Centennial. Madison: USDA, 2010. p. 10-1; 10-24.

FUMAGALLI, L. A. W.; CORSO, J. M. D.; SILVA, W. V. da. Processo de internacionalização no setor de produtos de maior valor agregado da indústria madeireira. **Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**, v. 6, n. 4, p. 299-311, 2009. DOI: 10.4013/base.2009.64.02

GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S. de.; NASCIMENTO, A. M. do.; SOUZA, N. D. de. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 509-517, 2014. DOI: 10.1590/01047760201420041316

GIERLINGER, N.; JACQUES D.; GRADNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES L. E. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, v. 18, p. 102-108, 2004.

GIERLINGER, N.; WIMMER, R. Radial distribution of heartwood extractives and lignin in mature european larch. **Wood and Fiber Science**, v. 36, n. 3, p. 387-394, 1984.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Willd em plantio consorciado com eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n 3, p. 286-295, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.034

HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005, 593 p.

HASS, P.; WITTEL, F. K.; MENDOZA, M.; HERRMANN, H. J.; NIEMZ, P. Adhesive penetration in beech wood: experiments. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 1-3, p. 243-256, 2011. DOI: 10.1007/s00226-011-0410-6.

HAZIR, E.; KOC, K. H. Evaluation of wood surface coating performance using water based, solvent based and powder coating. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 21, n. 4, p. 467-480, 2019. DOI: 10.4067/S0718-221X2019005000404

HENKE, M.; LIS, B.; KRYSIOFIK T. Mechanical and chemical resistance of UV coating systems prepared under industrial conditions using LED radiation. **Polymers**, v. 15, n. 23, 4550, 2024. DOI: 10.3390/polym15234550

HENKE, M.; LIS, B.; KRYSIOFIK, T. Gloss level of HDF finished with different numbers of layers and hardened with UV Hg-Ga lamps of selected power. **Coatings**, v. 12, n. 533, 2022. DOI: 10.3390/coatings12040533

HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. Weathering testing of timber: discoloration. *In*: IMAMURA, Y. **High performance utilization of wood for outdoor uses**. Kyoto: Press-Net, 2001.

HUMMEL, A. C.; ALVES, M. D. S. PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira**: produção, receita e mercados. Belém: Imazon, 2010. p. 20.

HUNT, C. G.; FRIHART, C. R.; DUNKY, M.; ROHUMAA, A. Understanding wood bonds—going beyond what meets the eye: a critical review. *In*: MITTAL, K. L. (Ed.). **Progress in adhesion and adhesives**. Beverly: Wiley-Scrivener, 2018. p. 353-419. DOI: 10.1002/9781119625322

IBM Corp. **IBM SPSS Statistics for Windows**, version 26.0. Armonk, NY: IBM Corp. 2019.

IEJAVS, J.; SKELE, K.; GRANTS, E.; UZULS, A. Bonding performance of wood of fast-growing tree species eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) and radiata pine (*Pinus radiata* D.Don) with polyvinyl acetate and emulsion polymer isocyanate adhesives. **Agronomy Research**, Estonia, v. 20, n. X, p. xxx-ccc, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13061-14**: Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 14: Determination of volumetric shrinkage. Switzerland, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13061-2**: Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. Switzerland, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2813:2014(E)**: Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20° degrees, 60° degrees and 85° degrees. Geneva, 2014. 11 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3129**: Wood — Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens. Switzerland, 2019.

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

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

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; FONTE, A. P. N.; FRANÇA, M. C.; LAU, P. C.; MOLLEKEN, R. Potencial de uso de madeiras de *Dinizia excelsa* Ducke e *Protium puncticulatum* J.F. Macbr para produção de painéis EGP **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 709-717, 2016. DOI: 10.18671/scifor.v44n111.17

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; NASCIMENTO, C. C. do; 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. DOI: 10.1590/01047760201521031844

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; STÜPP, A. M.; CABRAL, B. M.; GAYER, J. A. C. A. The use of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus urophylla* wood in the production of edge glued panels. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 317-324, 2019. DOI: 10.5380/rf.v49 i2.57795

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; ZUNTA, R. R.; PEREIRA, G. F.; ROSA, T. S. Avaliação dos efeitos do adesivo, gramatura e pressão na qualidade de painéis EGP de *Eucalyptus badjensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 49, n. 129, e3437, 2021. DOI: 10.18671/scifor.v49n129.20

JOHNS, W.; NIAZI, K. Effect of pH and buffering capacity of wood and the gelation time of urea-formaldehyde resin. **Wood and Fiber Science**, v. 12, n. 4, p. 255-263, 1980.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 816 p.

KACHIGAN, S. K. **Multivariate statistical analysis**. 2nd ed. New York: Radius Press, 1991. 303 p.

KAMKE, F. A.; LEE, J. N. Adhesive penetration in wood - a review. **Wood and Fiber Science**, v. 39, n. 2, p. 205-220, 2007.

KESIK, H. I.; AKYILDIZ, M. H. Effect of the heat treatment on the adhesion strength of water based wood varnishes. **Wood Research**, v. 60, n. 6, p. 987-994, 2015.

KLITZKE, R. J.; SAVIOLI, D. L.; MUÑIZ, G. I. B. de; BATISTA, D. C Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*Hymenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 80, p. 279-284, 2008.

KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. *In*: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Eds.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2007. p. 271-341.

KOFMAN, P. D. **Wood Ash**. COFORD connects. Processing/Products No. 43. 2p. Disponível em: <http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/project-reports/cofordconnects/>

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II: Wood based materials**. Heidelberg: Springer Berlin, 1975.

KOUHIZADEH, M.; ZHU, Q; SARKIS, J. Circular economy performance measurements and blockchain technology: an examination of relationships. **The International Journal of Logistics Management**, v. 34 n. 3, p. 720-743, 2024. DOI: 10.1108/IJLM-04-2022-0145 DOI: 10.1108/IJLM-04-2022-0145.

LANDRY, V.; BOIVIN, G.; SCHORR, D.; MOTTOUL, M.; MARY, A; ABID, L.; CARRÈRE, M.; LARATTE, B. Recent Developments and trends in sustainable and functional wood coatings. **Current Forestry Reports**, 2024. DOI: 10.1007/s40725-023-00195-0

LAU, P. C. **Produção de painéis de colagem lateral-EGP com madeira de *Populus deltoides***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 66. 2017.

LAZARESCU, C.; HART, F.; PIROUZ, Z.; PANAGIOTIDIS, K.; MANSFIELD, S.D.; BARRETT, J.D.; AVRAMIDIS, S. Wood species identification by near-infrared spectroscopy. **International Wood Products Journal**, v. 8, n. 1, p. 32-35, 2017.

LEITE, M. K.; SILVA, C. B. B. da; BELINI, U. L.; HEEMANN, A. Design de produto de maior valor agregado (PMVA) utilizando madeira de poda urbana do município de Curitiba. *In*: Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 8., 2020, Palhoça. **Anais...** Palhoça: UNISUL, 2020.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. **Fatos Florestais da Amazônia 2005**. Belém: Imazon, 2005. *Ebook*. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/atos-florestais-da-amazonia-2005.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2022.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém: Imazon, 2003. *E-book*. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/atos-florestais-da-amazonia-2003.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2022.

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

LIMA, C. M.; GONÇALEZ, J. C.; COSTA, T. R. V.; PEREIRA, R. S.; LIMA, J. B. M.; LIMA, M. S. A. Comportamento da cor de lâminas de madeira de pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*) tratada com produtos de acabamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 377-384, 2013. DOI: 10.1590/s0100-67622013000200020.

LIMA, J. B.; SILVA, J. M. P. Dinâmicas econômicas e ordenamentos territoriais dos grandes projetos de mineração no estado do Pará, 2009-2014: o caso de Paragominas. **GEOSABERES**, v. 6, n. 3, p. 402-416, 2016.

LIU, L.; SHAN, H.; JIA, X. K.; DUAN, S. J.; GAO, Y. J.; XU, C. Y.; WEI, S. Y. Study on UV curable tung oil based waterborne polyurethane wood coatings. **J. For. Eng.**, v. 7, p. 115-121, 2022.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R.; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA JUNIOR, F. G.; CAMARGO NETO, L.; BERMUDEZ, M. A. R. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 469-477, 2011.

LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. 131 f. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 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. DOI: 10.1590/S0104-77602013000400011

LUO, N.; OLSEN, T.; GANGULY, S.; LIU, Y. Food supply chain waste reduction for a circular economy in the COVID-19 pandemic: a longitudinal study of New Zealand consumers. **The International Journal of Logistics Management**, v. 34 n. 3, p. 800-817, 2024. DOI: 10.1108/IJLM-03-2022-0100

MAGEL, E.; JAY-ALLEMAND, C.; ZEIGLER, H. Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L. II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. **Trees**, v. 8, p. 165-171, 1994.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989.

MARQUES, M. B. L.; NASCIMENTO, C. C. do; ARAÚJO, R. D. de. Ecological panels as an alternative for waste from mechanical processing of Amazonian species. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 6, p. 458-470, 2020. DOI: 10.31686/ijer.vol8.iss6.2442

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

MARRIOTT, F. H. C. **The interpretation of multiple observations**. London: Academic Press, 1974. 117 p.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL)**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MEDEIROS, D. T. de; MELO, R. R. de; CADEMARTORI, P. H. G. de; BATISTA, F. G.; MASCARENHAS, A. R. P. Caracterização da madeira de espécies da Amazônia. **Madera y Bosques**, v. 27, n. 2, e2722209, 2021. DOI: 10.21829/myb.2021.2722209

MEIJER, M. D. A review of interfacial aspects in wood coatings: Wetting, surface energy, substrate penetration and adhesion. In: COST E18 **Final Seminar**. European Cooperation in Science and Technology: Brussels, 2005.

MELO, J. E.; CORADIN, V. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1990. v. 3. p. 695-705.

MELO, L. E. L.; SILVA, C. J.; LOPES, K. V.; BRITO, P. G. M. B.; SANTOS, I. S. Resíduos de serraria no estado do Pará: caracterização, quantificação e utilização adequada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 1, p. 113-116, 2012. DOI: 10.4322/loram.2012.012

MELO, R. R. de; DACROCE, J. M. F.; RODOLFO JUNIOR, F.; LISBOA, G. dos S.; FRANÇA, L. C. de J. Lumber yield of four native forest species of the Amazon Region. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, e20160311, 2019. DOI: 10.1590/2179-8087.031116

MESQUITA, R. R. S.; PAULA, M. H. de; GONÇALEZ, J. C. Colorimetria e espectroscopia no infravermelho médio em madeira de curupixá frente ao intemperismo artificial com produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 688-699, 2020. DOI: 10.5902/1980509831248

MORAIS, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. de; MELO, D. C. de. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

MORI, F. A. MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; CARDOSO, M. G. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 396-400, 2003. DOI: 10.1590/S0101-20612003000300018

MORIN-BERNARD, A.; BLANCHET, P.; DAGENAIS, C.; ACHIM, A. Use of northern hardwoods in glued-laminated timber: a study of bondline shear strength and resistance to moisture. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 78, p. 891-903, 2020. DOI: 10.1007/s00107-020-01572-3

MOYA, R.; FALLAS, R. S.; BONILLA, P. J.; TENORIO, C. Relationship between wood color parameters measured by the CIELab system and extractive and phenol content in *Acacia mangium* and *Vochysia guatemalensis* from fast-growth plantations. **Molecules**, v. 17, n. 4, p. 3639-3652, 2012. DOI: 10.3390/molecules17043639

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.

MUSAH, M.; WANG, X.; DICKINSON, Y.; ROSS, R. J.; RUDNICKI, M.; XIE, X. Durability of the adhesive bond in cross-laminated northern hardwoods and softwood. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 307, n. 2, 124267, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124267

NAHUZ, M. A. R. Mercado internacional sinaliza evolução. **Revista da Madeira**, n. 80, 2004.

NAIDE, T. L.; CADERMATORI, P. H. G.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B. Preliminary evaluation of the incorporation of cellulose nanofibers as reinforcement in waterborne wood coatings. **Maderas, Ciencia y tecnología**, v. 24, n. 53, 2022. DOI: 10.4067/s0718-221x2022000100453.

NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 593-601, 2013. DOI: 10.1590/S0104-77602013000400009

NASCIMENTO, S. D.; DUTRA, R. I.; NUMAZAWA, S. Wood industry waste: characterization, consequences on the environment and use options. **Holos Environment**, v. 6, n. 1, p. 08-21, 2006. DOI: 10.14295/holos.v6i1.177

NOGUEIRA, S. S.; CASTRO, V. G. de. Variações longitudinais nas propriedades físicas da madeira de *Mimosa tenuiflora*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 33, n. 2, p. 150-155, 2021. DOI: 10.24278/2178-5031.202133203

NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. **Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira**. Piracicaba: ANPM, 2014. 40p.

NUMAZAWA, S.; CARVALHO, M. S. P.; BRANDÃO, A. T. O.; ALVES, R. L.; RODRIGUES, A. F. Determinação do índice de conversão da tora em madeira

serrada de oito espécies florestais processadas na empresa Comércio Madeira Dunorte Ltda. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, IX, 2003, Belém. **Anais [...]**. Belém, 2003. p. 1-22.

OBLAK, L.; KRICEJ, B.; LIPUŠCEK, I. The comparison of the coating systems according to the basis criteria. **Wood Research**, v. 51, n. 4, p. 77-86, 2006.

ÖZPARPUCU, M.; SÁNCHEZ-FERRER, A.; SCHUH, M.; WILHELM, B.; SARKAR, R.; REIF, B.; WINDEISEN-HOLZHAUSER, E.; RICHTER, K. Acidic wood extractives accelerate the curing process of emulsion polymer isocyanate adhesives. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 139, n. 21, e52189, 2022.

PACE, J. H. C; CARVALHO, A. M; NASCIMENTO, A. M; LATORRACA, J. V. F; DIAS JÚNIOR, A. F. A ação do intemperismo interfere no acabamento superficial e na coloração da madeira de espécies florestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-7, 2018. DOI: 10.22491/rca.2018.2442.

PAROBEK, J.; PALUŠ, H.; DZIAN, M.; ROKONALOVÁ, A.; ČEREŠŇA, R. Wood-based waste management - important resources for circular economy. In: International Scientific Conference WoodEMA, 16., 2024, Prague. **Proceedings...** Prague: Faculty of Forestry and Wood Sciences, 2024.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. *Ebook*. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/fatos-florestais-da-amazonia-2010/>. Acesso em: 27 mai. 2022.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. *Ebook*. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/fatos-florestais-da-amazonia-2010/>. Acesso em: 27 mai. 2022.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. *Ebook*. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/fatos-florestais-da-amazonia-2010/>. Acesso em: 27 mai. 2022.

PEREIRA, M. C. S. **Produção e consumo de produtos florestais**: perspectivas para a região sul com ênfase em Santa Catarina. Florianópolis: BRDE/AGFLO/GEPLA, 2003. 51 p.

R CORE TEAM. **R**: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024. <<https://www.R-project.org/>>.

RAJEMISON, A. H. **Proposition d'essences de substitution aux bois précieux en épuisement par la connaissance des propriétés du matériau bois**: Cas du Palissandre de Madagascar - Application en ameublement. 210 p. Thèse (Doctorat en Génie Mécanique, Mécanique des Matériaux) - Université de Toulouse, Toulouse, 2013.

RAMOS, W. F.; RUIVO, M. D. L. P.; JARDIM, M. A. G.; SOUSA, L. M. D. Timber waste generation from the forest-based sector in the metropolitan region of Belém Pará. **Forest Science**, v. 28, n. 4, p. 1823-1830, 2018. DOI: 10.5902/1980509835341

RAMOS, W. F.; RUIVO, M. L. P.; JARDIM, M. A. G.; PORRO, R.; CASTRO, R. M. S.; SOUSA, L. M. Análise da indústria madeireira na Amazônia: gestão, uso e armazenamento de resíduos. **RBCIAMB**, n.43, p. 1-16, 2017. DOI: 10.5327/Z2176-947820170057

RIVELA, B., HOSPIDO, A., MOREIRA, T., FEIJOO, G. Life cycle inventory of particleboard: a case study in the wood sector. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, p. 106-113, 2006. DOI: 10.1065/lca2005.05.206

ROFFAEL, E. Significance of wood extractives for wood bonding. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 100, p. 1589-1596, 2016.

ROJAS, J. C. C.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; MORA, H. E. G. Uso de residuos de procesos de transformación secundaria de tres especies tropicales en la fabricación de paneles encolados lateralmente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 125, e3168, 2020. DOI: 10.18671/scifor.v48n125.20

RONDÔNIA. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental. **Mapa de tipos climáticos de Rondônia**. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br/>>. Acesso em: 14 nov. 2024.

ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. CRC Press: Boca Raton, 2012. 703 p.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Ed.) **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Florida: CRC Press, 2005.

ROWELL, R.; BONGERS, F. Role of moisture in the failure of coatings on wood. **Coatings**, v. 7, n. 219, 2017. DOI: 10.3390/coatings7120219

SAHIN, S.; ESTEVES, B.; CAN, A.; Sivrikaya, H.; DOMINGOS, I.; FERREIRA, J.; AYATA, Ü. Effects of artificial weathering on the surface properties of coated radiata pine. **Maderas. Ciencia y tecnología**. v. 25, n. 29, p. 1-14, 2024. DOI: 10.4067/s0718-221x2024000100429

SALCA, E.-A.; KRYSTOFIAK, T.; LIS, B. Evaluation of Selected Properties of Alder Wood as Functions of Sanding and Coating. **Coatings**, v. 7, n. 176, 2017. DOI: 10.3390/coatings7100176

SALCA, E.-A.; KRYSTOFIAK, T.; LIS, B.; HIZIROGLU, S. Glossiness evaluation of coated wood surfaces as function of varnish type and exposure to different conditions. **Coatings**, v. 11, n. 558, 2021. DOI: 10.3390/coatings11050558

SALCA, E.-A.; KRYSZTOFIK, T.; LIS, B.; MAZELA, B.; PROSZYK, S. Some coating properties of black alder wood as function of varnish type and applications method. **BioResources**, v. 11, n. 3, p. 7580-7594, 2016. DOI: 10.15376/biores.11.3.7580-7594

SCRINZI, E.; ROSSI, S.; DEFLORIAN, F.; ZANELLA, C. Evaluation of aesthetic durability of waterborne polyurethane coatings applied on wood for interior applications. **Progress in Organic Coatings**, Lausanne, v. 72, n. 1-2, p. 81-87, 2011. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2011.03.013

SELBO, M. L. **Adhesive bonding of wood**. Technical bulletin, n. 1512, 124 p. 1975.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Boletim SNIF 2018 Ed. 1**. 2019. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4092-boletim-snif-2018-ed1/file>. Acesso em: 18 nov. 2019.

SIKORA, K.; MCPOLIN, D.; HARTE, A. Shear strength and durability testing of adhesive bonds in cross-laminated timber. **The Journal of Adhesion**, Philadelphia, v. 92, n. 7-9, p. 758-777, 2016. DOI: 10.1080/00218464.2015.1094391

SILVA, J. J. N. da; CARDOSO, G. V.; SILVA JÚNIOR, F. G. da; STANGERLIN, D. M. Caracterização tecnológica da madeira de *Schizolobium amazonicum* para a produção de celulose kraft. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 33-45, 2013. DOI: 10.12953/2177-6830.v04n01a03

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 07-13, 2004.

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M.; PASTORE JÚNIOR, F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 17-23, 2007.

SILVA, J. R. M. da; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. de C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 75-83, 2009.

SILVA, L. F. da. **Comportamento de lâminas de madeira de três espécies florestais submetidas à fotodegradação artificial após serem tratadas com diferentes produtos de acabamento**. 2021. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SILVA, M. J. G. **Climatologia do estado de Rondônia**. 2009. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Meteorologia/Climatologia>>. Acesso em: 14 nov. 2024.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 179 – 184, 2013. DOI: 10.1590/S0044-59672013000200007

SILVEIRA, M. F.; GOUVEIA, F. N.; MOREIRA, A. C.; OLIVEIRA, J. R. V.; SILVA, A. S. V.; ALMEIDA, G. F.; COSTA, A. F. Natural resistance of eight Brazilian wood species from the region Caatinga determined by an accelerated laboratory decay test against four fungi. **Holzforschung**, v. 73, n. 2, p. 151-154, 2019. DOI: 10.1515/hf-2018-0051

SLABEJOÁ, G.; ŠMIDRIAKOVÁ, M. The effect of coating film thickness on the quality of surface finish on lightweight plywood. **Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen**, v. 64, n. 1, p. 39-58, 2022. DOI: 10.17423/afx.2022.64.1.04

SLABEJOVÁ, G. An influence of selected factors on the aspen wood surfaced roughness treated with water-based coatings – Methodology work. **Annals of Warsaw University of Life Sciences**, Warsaw, n. 76, p. 25-28, 2011.

SLABEJOVÁ, G.; ŠMIDRIAKOVÁ, M.; FEKIAČ, J. Gloss of transparent coating on beech wood surface. **Acta Facultatis Xylogologiae**, Slovakia, v. 58, n. 2, p. 37-44, 2016. DOI: 10.17423/afx.2016.58.2.04

SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Environmental implications of the use of wood-based products**. 2016. Disponível em: <http://wwwl.fpl.fs.fed.us/swst/environ.html>. Acesso em: 21 nov. 2019.

SONMEZ, A.; BUDAKCI, M.; BAYRAM, M. Effect of wood moisture content on adhesion of varnish coatings. **Scientific Research and Essay**, v. 4, n. 12, p. 1432-1437, 2009.

SOTELI, R. P.; RODRIGUES, L. D. de O.; PEREIRA, B. L. C.; PROTÁSIO, T. de P.; CARNEIRO, A. de C. O.; OLIVEIRA, A. C. Management and classification of waste from the primary processing of Brazilian Amazon tropical wood for energy-generation purposes. **Environment, Development and Sustainability**, 2024. DOI: 10.1007/s10668-023-03179-z

SOUZA, G. O. de; PIMENTA, A. S.; TRIANOSKI, R.; MELO, R. R. de; AZEVEDO, T. K. de; CASTRO, R. V. O. Production of edge-glued panels with wood from three Brazilian dry forest tree species and five types of adhesives. **International Wood Products Journal**, 2020. DOI: 10.1080/20426445.2020.1721041

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: The Ronald Press Company. 1964.

TAYLOR, A. M.; GARTNER, B. L.; JEFFREY, J.; MORRELL, J. J. Heartwood formation and natural durability—a review. **Wood and Fiber Science**, v. 34, n. 4, p. 587-611, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 204 cm-17**: Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 2017.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 211 om-16**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, 2016.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 252 om-12**: pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 257 sp-14**: Sampling and preparing wood for analysis. Atlanta, 2014.

TIENNE, D. L. C. **Qualidade da adesão de juntas coladas expostas a condições de serviço externo e interno**. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

TIENNE, D. L. 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. DOI: 10.4322/floram.2011.0191

TRAORÉ, M.; KAAL, J.; CORTIZAS, A. M. Variation of wood color and chemical composition in the stem cross-section of oak (*Quercus* spp.) trees, with special attention to the sapwood-heartwood transition zone. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 285, n. 15, 121893, 2024. DOI: 10.1016/j.saa.2022.121893

TRAORÉ, M.; CORTIZAS, A. M. Comparative study of four timber wood species in southern Mali (West Africa) by combining FTIR spectroscopy and multivariate analysis. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 81, p. 1513-1524, 2024. DOI: 10.1007/s00107-023-01979-8

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Painéis colados lateralmente - EGP. In: IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. (Eds.). **Painéis de madeira reconstituída**. 2 ed. Curitiba: FUPEF, 2020. p. 118-135.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; BONDUELLE, G. M. Qualidade das juntas coladas de madeira de cinco espécies de *Eucalyptus* com adesivos acetato de polivinila e resorcina-formaldeído. **Madera y Bosques**, v. 26, n. 3, e2632064, 2020. DOI: 10.21829/myb.2020.2632064

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Painéis colados lateralmente - EGP. In: IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. (Eds.). **Painéis de madeira reconstituída**. 2 ed. Curitiba: FUPEF, 2020. p. 118-135.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 494 p. 1991.

UGULINO, B.; HERNÁNDEZ, R. E. Analysis of sanding parameters on surface properties and coating performance of red oak wood. **Wood Material Science & Engineering**, United Kingdom, v. 13, n. 2, p. 64-72, 2016. DOI: 10.1080/17480272.2016.1266511

UGULINO, B.; HERNÁNDEZ, R. E. Assessment of surface properties and solvent-borne coating performance of red wood produced by peripheral planing. **European Journal of Wood and Products**, Berlin, v. 75, p. 581-593, 2017. DOI: 10.1007/s00107-016-1090-6

VALDIONES, A. P.; CARDOSO, B.; DAMASCENO, C.; KOURY, C. G.; SOUZA JR., C.; CARDOSO, D.; MEIRELLES, F.; COSTA, J. N.; RIBEIRO, J.; SOBRAL, L. M.; LENTINI, M. W.; ANDRADE, M. BT; PACHECO, P.; MORGADO, R. P.; CARVALHO, T.; SILGUEIRO, V. **A Evolução do setor madeireiro na Amazônia entre 1980 e 2020 e as oportunidades para o seu desenvolvimento inclusivo e sustentável na próxima década**. Belém: Imazon: Imaflora: ICV: IDESAM, 2022. *Ebook*. Disponível em: <https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2022/06/Evolucao-do-Setor-Madeireiro-na-Amazonia-de-1980-a-2020.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2022.

VASS, T. de; NAND, A. A.; BHATTACHARYA, A.; PRAJOGO, D.; CROY, G.; SOHAL, A. Transitioning to a circular economy: lessons from the wood industry. **The International Journal of Logistics Management**, v. 34, n. 3, p. 582-610, 2024. DOI 10.1108/IJLM-04-2022-0200

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. da S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011. DOI: 10.4322/loram.2011.066

VIEZZER, M. R. Z. **Utilização de resíduo madeireiro amazônico na produção de blocos de vedação para construção civil**. 122 f. Tese (Doutorado em Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2022.

VITOSYTÉ, J.; UKVALBERGIENĚ, K.; KETURAKIS, G. The effects of surface roughness on adhesion strength of coated ash (*Fraxinus excelsior* L.) and birch (*Betula* L.) wood. **Materials Science**, v. 18, n. 4, p. 347-351, 2012. DOI: 10.5755/j01.ms.18.4.3094

WENGERT, G. A. Princípios básicos para a colagem da madeira. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, n. 64, 2002.

WILLIAMS, R. S. Finishing of wood. *In*: Forest Products Laboratory. **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. Ed. Centennial. Madison: USDA, 2010.

WU, L.; CHEN, M.; XU, J.; FANG, F.; LI, S.; ZHU, W. Nano-SiO₂-modified waterborne acrylic acid resin coating for wood wallboard. **Coatings**, v. 12, n. 1453, 2022. DOI: 10.3390/coatings12101453

YELLE, D. J.; STIRGUS, A. M. **Influence of anatomical, physical, and mechanical properties of diffuse-porous hardwoods on moisture durability of bonded assemblies**. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, 2016. General Technical Report. DOI: 10.2737/FPL-GTR-244

ZHANG, Z.; PROVIS, J. L.; REID, A.; WANG, H. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. **Construction and Building Materials**, v. 56, p. 113-127, 2014. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081

ZHU, Y.; ZHU, W.; LI, Z.; FENG, Y.; QI, W.; LI, S.; WANG, X.; CHEN, M. Enhancement of wood coating properties by adding silica sol to uv-curable waterborne acrylics. **Forests**, v. 14, n. 335, p. 1-13. 2024. DOI: 10.3390/f14020335