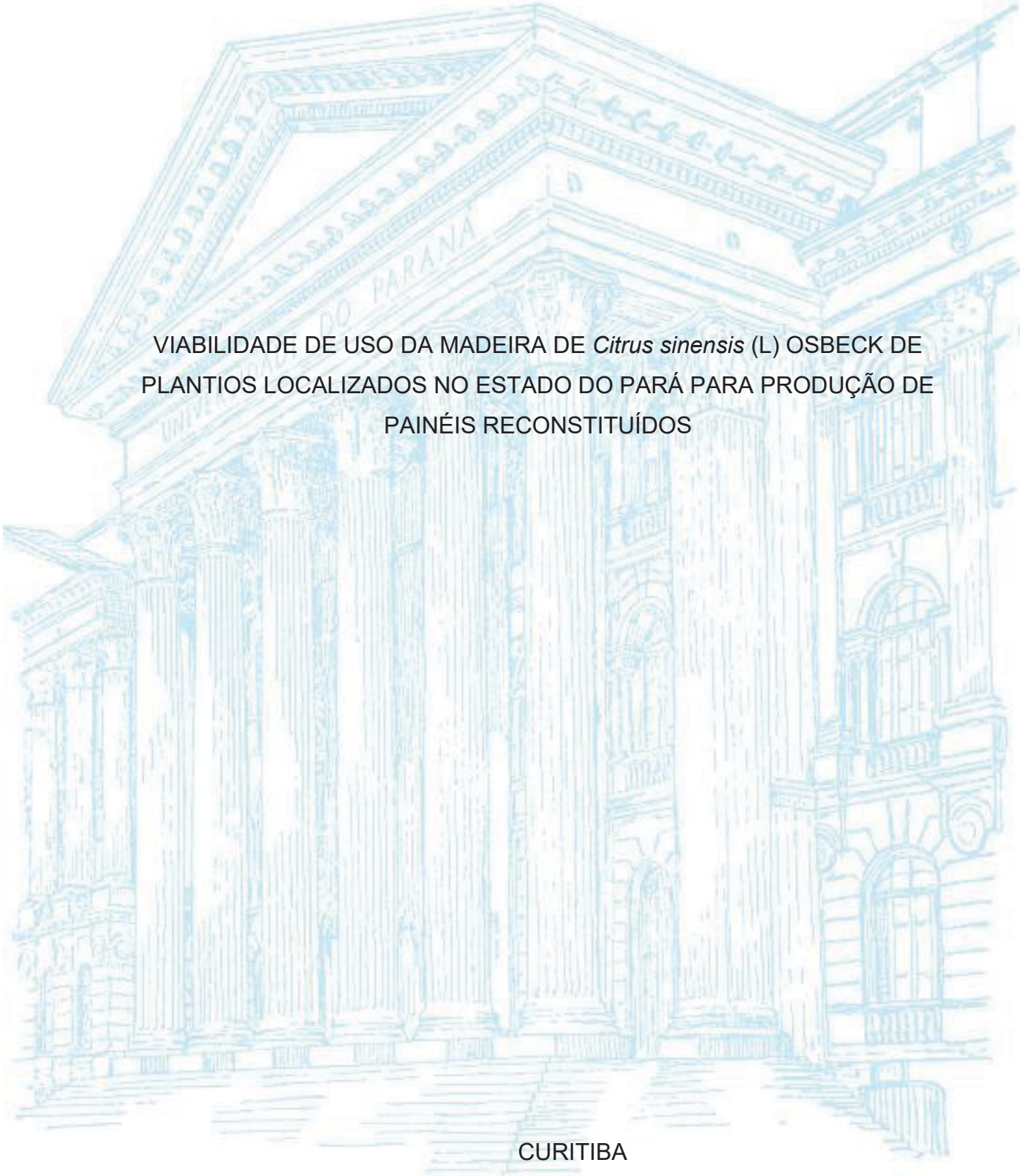
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

AMANDA THAYANA DA SILVA COSTA



VIABILIDADE DE USO DA MADEIRA DE *Citrus sinensis* (L) OSBECK DE PLANTIOS LOCALIZADOS NO ESTADO DO PARÁ PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS RECONSTITUÍDOS

CURITIBA

2025

AMANDA THAYANA DA SILVA COSTA

VIABILIDADE DE USO DA MADEIRA DE *Citrus sinensis* DE PLANTIOS LOCALIZADOS NO ESTADO DO PARÁ PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS RECONSTITUÍDOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal. Área de Concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientadora: Prof.ª Dr.ª Rosilani Trianoski

CURITIBA

2025

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

Costa, Amanda Thayana da Silva
Viabilidade de uso da madeira de Citrus sinensis (L) Osbeck de plantios localizados no estado do Pará para produção de painéis reconstituídos / Amanda Thayana da Silva Costa. - Curitiba, 2025.
1 recurso on-line : PDF

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Coorientadora: Prof.ª Dr.ª Rosilani Trianoski

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 18/03/2025.

1. Laranjeira - Aplicações industriais. 2. Laranjeira - Cultivo - Pará. 3. Resíduos agrícolas - Reaproveitamento. 4. Resíduos de madeira - Reaproveitamento. 5. Compensados de madeira. I. Iwakiri, Setsuo. II. Trianoski, Rosilani. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD - 674.83
CDU - 674
634.0.839.8
634.0.832.2

Bibliotecária: Marilene do Rocio Veiga - CRB9/424

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA FLORESTAL - 40001016015P0

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 dissertação de Mestrado de **AMANDA THAYANA DA SILVA COSTA**, intitulada: **VIABILIDADE DE USO DA MADEIRA DE *Citrus sinensis* (L) OSBECK DE PLANTIOS LOCALIZADOS NO ESTADO DO PARÁ PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS RECONSTITUÍDOS.**, sob orientação do Prof. Dr. SETSUO IWAKIRI, 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 mestra 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, 18 de Março de 2025.

SETSUO IWAKIRI
Presidente da Banca Examinadora

ADAUTO JOSÉ MIRANDA DE LIMA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

CARLOS FREDERICO ALICE PARCHEN
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Às minhas mães – Benedita (vó), Ana (mãe) e Selli (tia),
Às minhas irmãs e primo/irmão – Ananda, Alana e Gabriel,
À minha maior referência paterna – Ronaldo,
Ao meu namorado – André,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora de Nazaré, que proporcionam acolhimento nos momentos de solidão, assim como força e esperança para seguir em frente e completar mais uma fase da minha jornada.

Ao meu orientador, prof. Dr. Setsuo Iwakiri, e à minha co-orientadora, prof.ª Dr.ª Rosilani Trianoski, pela paciência e confiança que sempre tiveram em mim. Aprecio profundamente todos os ensinamentos e orientações que me auxiliaram na elaboração deste trabalho, além de diversas outras contribuições. Sou imensamente grata pelas oportunidades que me proporcionaram, sempre acompanhas de preciosos aprendizados.

Aos docentes que tive o privilégio de ter durante a minha graduação, que me acompanharam e incentivaram ao longo do caminho, em especial ao Dr. Cesar França Braga, ao Dr. Ricardo Gabriel de Almeida Mesquita e à Dr.ª Ana Paula Donicht Fernandes, pelo apoio constante e encorajamento desde aqueles tempos.

Aos docentes da Universidade Federal do Paraná, cujas aulas tive o prazer de acompanhar e ampliar meus conhecimentos, além do valioso apoio que recebi em minha pesquisa. Um reconhecimento especial à professora Dr.ª Silvana Nisgoski, e aos professores Dr. Ivan Venson e Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos.

Aos colaboradores e técnicos da Universidade Federal do Paraná, em especial a Mariuci Torres, Eliane, Mauro, Fernando e Reinaldo, pela proveitosa assistência no desenvolvimento das análises, na preparação das amostras, no apoio aos procedimentos laboratoriais e na resolução das questões burocráticas.

Aos professores e colaboradores da Universidade Federal Rural da Amazônia, campus Capitão Poço – Pará, Dr.ª Pamella Carolline Marques dos Reis Reis e Dr. Jonnys Paz Castro, Galeco, Babete, Vinicius, pela disponibilização do laboratório para conduzir alguns testes preliminares e pelo auxílio técnico proporcionado.

À Empresa Lima Citros (Cítricos do Pará S/A) pela prontidão em fornecer o material de estudo e pela assistência na coleta, com um agradecimento especial a Yweenns, Walmeston e Fabio Mota.

Às amigas e amigos que dedicaram um momento de suas intensas rotinas acadêmicas para a realização de algum procedimento desta pesquisa, especialmente à Fernanda Duran, Otávio, Léo, Fernando, Fernanda, Tauana, Washington e Thamires.

À Dr.ª Cibelle Reis e Dr.ª Daniela Minini pelo valioso apoio, ajuda e orientações que recebi desde o início do mestrado, sobretudo nas dúvidas que sugiram ao longo dessa jornada.

À Ana Laura Luz e sua família, assim como à Dona Clebia e sua família, pelo acolhimento e hospitalidade durante tantos momentos.

As minhas amigas que estiveram ao meu lado desde a época da graduação e me ofereceram um apoio inestimável, especialmente Janiele, Denyse, Alessandra e Nívea.

Aos amigos que fiz na cidade de Fortaleza – CE, que proporcionaram apoio emocional para não desistir de cursar o mestrado, em especial ao Mathias, Everton, Guilherme e Medna.

À Luísa e ao Theobaldo pelo abrigo e carinho em momentos difíceis.

Às minhas amigas de casa, Gabriela, Renata e Sandra, pela amizade, cuidado, apoio, companhia e momentos juntas.

Aos amigos que fiz durante esta trajetória, em especial a Daiane, Antônio, Jordan, Amanda, Girlene, Ana Paula e Tawani.

Aos meus familiares, tantos aqueles que me apoiaram de maneira direta quanto os que contribuíram indiretamente, assim como a todos que estiveram presentes em minha vida e neste trabalho ao longo dos últimos dois anos. Peço desculpas se esqueci de citar alguém, mas minha gratidão é profunda.

À Universidade Federal do Paraná pela infraestrutura de trabalho disponibilizada, assim como ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

A CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

Sinto profunda gratidão pela possibilidade de ter coletado meu material, realizado as análises, aprendido novas técnicas e principalmente os desafios que ocorreram e a extração de ensinamentos deles. Tive a chance de vivenciar novas experiências e, ao longo do caminho, construir novas amizades e adquirir vários conhecimentos. Quero dedicar um agradecimento especial a mim por ter encontrado a força necessária para lidar com tudo com serenidade, sabedoria e fé. A educação é uma jornada que transforma e nos oferece autoconhecimento, oportunidades e possibilidades.

Por trás de alguém que vai longe, existe uma rede de apoio que motiva.

(Autor desconhecido)

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de citros do mundo, destacando-se como o maior exportador de suco concentrado de laranja – o principal produto da citricultura no país. No entanto, a grande quantidade de resíduos lenhosos gerados ao final do ciclo de produção tem gerado problemas, pois sua destinação, frequentemente através da queima, não é a mais adequada e está sujeita à regulamentação ambiental. Portanto, o aprofundamento no estudo das propriedades da madeira de laranjeira – abrangendo os aspectos anatômicos, químicos e físicos – e a produção de painéis reconstituídos (EGP e cimento-madeira) se mostram fundamentais. Isso não só favorece uma utilização apropriada desses materiais, como também contribui para a criação de novos produtos com maior valor agregado. Foram avaliadas as principais características anatômicas (caracterização microscópica e análise do desvio da grã do tronco) e as propriedades físico-químicas (densidade básica do tronco e do galho, a retratibilidade do tronco, teor de extrativos solúveis, cinzas e lignina do tronco, galho e casca). De maneira geral, a madeira apresentou baixa porosidade, fibras espessas, uma significativa quantidade de cristais prismáticos, grã reta (direita); e foi classificada como madeira de média densidade. Para todas as análises químicas, os valores relativos à casca foram altos, principalmente quando comparados com os resultados da madeira (tronco e galho). Para avaliar a qualidade da colagem, foram realizadas colagens laterais (sarrafos processados apenas a partir do tronco, sem a casca) utilizando adesivos PVA, EPI e MUF nas gramaturas de 150 $g.m^{-2}$ e 200 $g.m^{-2}$. Essas colagens foram, posteriormente, testadas quando à resistência ao cisalhamento, conforme a norma EN 13353 (2008). A madeira de *Citrus sinensis* atendeu ao requisito da resistência ao cisalhamento da norma EN 15353 para uso em condição seca quando colada com adesivo MUF na gramatura de 200 $g.m^{-2}$. Para a produção dos painéis cimentícios foi empregada uma mistura de partículas do tronco, galho e casca, além do cimento Portland comum e microssílica. Os pré-tratamentos das partículas (água fria, água quente e NaOH) foram aplicados antes da produção das chapas cimentícias. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 1,20 g/cm^3, utilizando relação madeira:cimento de 1:2,75, fator água:cimento de 0,4 e 3% de acelerador de pega. As análises realizadas para avaliar a compatibilidade *in natura* e os tratamentos aplicados às partículas, assim como o uso de microssílica (10% em relação ao peso do cimento), foram conduzidos por meio de testes físicos e mecânicos de acordo com as normativas (EN 323, EN 317, EN 310 e EN 319 – 2002). Os pré-tratamentos dos painéis cimento-madeira mostraram-se eficazes, sendo a água fria o melhor tratamento. Não houve efeito significativo da adição da microssílica sobre as propriedades dos painéis. Os resultados encontrados para madeira de laranjeira foram superiores comparando-os com a literatura e o processo comercial Bison. Assim, esses materiais residuais de *Citrus sinenesis* (L) Osbeck, seja madeira sólida ou partículas, possuem um potencial significativo para a fabricação de painéis reconstituídos, como EGP e cimento-madeira.

Palavras-chave: madeira de laranjeira; painel colado lateralmente (EGP); painel cimento-madeira; resíduo agroindustrial; produção sustentável.

ABSTRACT

Brazil is the largest producer of citrus worldwide, standing out as the largest exporter of concentrated orange juice - the main product of citrus cultivation in the country. However, the large amount of woody waste generated at the end of the production cycle has caused problems, as its disposal, often through burning, is not the most appropriate approach and it is also subject to environmental regulations. Therefore, further study of the properties of orange wood - encompassing anatomical, chemical and physical aspects - and the manufacture of reconstituted panels (EGP and wood cement) are essential. This not only favors the appropriate use of these materials, but also contributes to the creation of new products with a higher added value. The main anatomical characteristics (microscopic characterization and analysis of the deviation of the stem grain) and physicochemical properties (basic density of the stem and branch, stem wood shrinkage, soluble extractives, ash and lignin content of the stem, branch and bark) were evaluated. In general, the wood presented low porosity, thick fibers, a significant amount of prismatic crystals, straight grain (right); and it was classified as medium density wood. For all the chemical analyses, the values for the bark were high, especially when compared to the results for the wood (both stem and branch). In order to assess the quality of the glue, edge glued panels were manufactured (laths processed from the stem only, without the bark) using PVA, EPI and MUF adhesives in150 g.m-² and 200 g.m-² grammages. These panels were then tested for shear strength in accordance with EN 13353 (2008). *Citrus sinensis* wood met the shear strength requirement of the EN 15353 standard for use in dry conditions when bonded with MUF adhesive at a grammage of 200 g.m-². A mixture of particles from the stem, branch and bark, as well as common Portland cement and microsilica, were used to produce the cement-based panels. The particles were pre-treated (cold water, hot water and NaOH) before the cement panels were produced. The panels were produced with a nominal density of 1.20 g/cm³, using a wood:cement ratio of 1:2.75, a water:cement factor of 0.4 and a 3% setting accelerator. The analyses carried out to assess compatibility *in natura* and the treatments applied to the particles, as well as the use of microsilica (10% in relation to the weight of the cement), were conducted using physical and mechanical tests in accordance with the standards (EN 323, EN 317, EN 310 and EN 319 - 2002). The pre-treatments of the wood-cement panels proved to be effective, with cold water as the best treatment. There was no significant effect of adding microsilica. The results in this study for orange wood were superior compared to the literature and the commercial Bison process. Thus, these residual materials from *Citrus sinensis* (L) Osbeck, whether solid wood or particles, have significant potential for the manufacture of reconstituted panels, such as EGP and wood cement.

Keywords: orange wood; edge glued panel (EGP); wood-cement panel; agroindustrial waste; sustainable production.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 1. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA. 30
FIGURA 1. 2 - SELEÇÃO DAS ÁRVORES. 32
FIGURA 1. 3 - RETIRADA DE GALHOS E DEMARCAÇÃO DE CUNHAS. 32
FIGURA 1. 4 – ANÁLISE ANATÔMICA. 34
FIGURA 1. 5 - MENSURAÇÃO DO DESVIO DA GRÃ. 34
FIGURA 1. 6 - PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA. 35
FIGURA 1. 7 - PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DE MASSA SECA. 36
FIGURA 1. 8 - PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE. 37
FIGURA 1. 9 - REDUÇÃO E SEPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES QUÍMICAS. 38
FIGURA 1. 10 - PROCEDIMENTOS DA ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*. 39
FIGURA 1. 11 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*.....41
FIGURA 1. 12 - IMAGENS MICROSCOPICAS DA MADEIRA DE *Citrus sinensis* EM DIFERENTES PLANOS ANATÔMICOS. 42
FIGURA 1. 13 - NÚMERO DE AMOSTRAS E CLASSES DO DESVIO DA GRÃ. 44

CAPÍTULO 2

FIGURA 2. 1 - TRONCOS DE *Citrus sinensis*.....58
FIGURA 2. 2 - PREPARAÇÃO DOS SARRAFOS PARA COLAGEM LATERAL. 59
FIGURA 2. 3 - PRENSAGEM PARA A COLAGEM DOS SARRAFOS. 60
FIGURA 2. 4 – ACONDICIONAMENTO DAS JUNTAS COLADAS 60
FIGURA 2. 5 - DESENHO ESQUEMÁTICO DA CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS PARA O ENSAIO DE CISALHAMENTO DA COLAGEM LATERAL. ...61
FIGURA 2. 6 - PRÉ-TRATAMENTOS E ENSAIO DE CISALHAMENTO. 61

CAPÍTULO 3

FIGURA 3. 1 - ARMAZENAMENTO E ESQUADREJAMENTO DOS RESÍDUOS. ...76
FIGURA 3. 2 - GERAÇÃO E SECAGEM DE CAVACOS. 77
FIGURA 3. 3 - TRANSFORMAÇÃO DOS CAVACOS EM PARTÍCULAS. 77
FIGURA 3. 4 - PRÉ-TRATAMENTO E SECAGEM DAS PARTÍCULAS AO AR LIVRE. 79
FIGURA 3. 5 - A – SEM ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA; B – COM ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA. 80
FIGURA 3. 6 - MISTURA DE MATERIAIS PARA FORMAÇÃO DO PAINEL. 81
FIGURA 3. 7 - FORMAÇÃO DO COLCHÃO PARA A PRÉ-PRENSAGEM.....82
FIGURA 3. 8 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO GRAMPEAMENTO DOS PAINÉIS. 82
FIGURA 3. 9 - PRÉ-PRENSAGEM E MATURAÇÃO DOS PAINEIS APÓS O PERÍODO DE GRAMPEAMENTO.....83
FIGURA 3. 10 - COMPARATIVOS ENTRE PAINÉIS.....85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

TABELA 1. 1 - ENSAIOS EXECUTADOS, REPETIÇÕES E NORMAS. 38
TABELA 1. 2 - DESCRIÇÃO ANATÔMICA QUANTITATIVA DA MADEIRA DE *Citrus sinensis* 43
TABELA 1. 3 - DENSIDADE BÁSICA DA ESPÉCIE *Citrus sinensis*. 45
TABELA 1. 4 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA A RETRATIBILIDADE E COEFICIENTE ANISOTRÓPICO DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*.....46
TABELA 1. 5 - PROPRIEDADES QUÍMICAS DA ESPÉCIE *Citrus sinensis*.....48
TABELA 1. 6 - COMPARATIVO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA SEGUNDO A LITERATURA.....51

CAPÍTULO 2

TABELA 2. 1 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA A COLAGEM LATERAL. 59
TABELA 2. 2 - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (RC) NA COLAGEM LATERAL. 63
TABELA 2. 3 - EFEITO DO TIPO DE ADEVISO SOBRE A QUALIDADE DA COLAGEM LATERAL. 64
TABELA 2. 4 - EFEITO DA GRAMATURA SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....68
TABELA 2. 5 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E PORCENTAGEM DE FALHA NA MADEIRA. 69

CAPÍTULO 3

TABELA 3. 1 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....80
TABELA 3. 2 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS. 83
TABELA 3. 3 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS CIMENTO MADEIRA.....86
TABELA 3. 4 - RESULTADOS MÉDIOS DOS EFEITOS PRINCIPAIS DO PRÉ-TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS E DA MICROSSÍLICA SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS.....89
TABELA 3. 5 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E A MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL, DA MADEIRA, DOS EXTRATIVOS TOTAIS E DOS PRÉ-TRATAMENTOS.....91
TABELA 3. 6 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....92
TABELA 3. 7 - RESULTADOS MÉDIOS DOS EFEITOS PRINCIPAIS DO PRÉ-TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS E DA MICROSSÍLICA SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS. 95
TABELA 3. 8 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E A MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL, DA MADEIRA, DOS EXTRATIVOS TOTAIS E DOS PRÉ-TRATAMENTOS. 96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGRIANUAL – Anuário da Agricultura Brasileira
ASTM – American Society for Testing and Materials
BISON – Wood Cement Board
$CaCl_2$ – Cloreto de cálcio
CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CETRIS – Cement Bonded Particleboard
CP – Cimento Portland
EGP – Edge Glued Panel
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EN – European Committee for Standardization
FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEEA – Geradora de Energia Elétrica Alegrete Ltda
HDF – High Density Fiberboard
HDP – High Density Particleboard
IAWA – International Association of Wood Anatomists
IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDF – Medium Density Fiberboard
MDP – Medium Density Particleboard
NBR – Norma Brasileira Regulamentador
OSB – Oriented Strand Board
PMVA – Produto de maior valor agregado
TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia
USDA – United States Department of Agriculture
VIROC – Características Viroc

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 17
Objetivos 19
Objetivo geral 19
Objetivos específicos 19
REVISÃO DE LITERATURA 20
A espécie C*itrus sinensis* 20
Características da madeira de C*itrus sinensis* 22
Painéis reconstituídos de madeira 23
Painel colado lateralmente (*Edge Glued Panels* – EGP) 24
Painel cimento-madeira 24
CAPÍTULO 1 26
CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE *Citrus sinensis* **..... 26**
ANATOMICAL, PHYSIC AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF *Citrus sinensis* **WOOD 27**
1.1 INTRODUÇÃO 28
1.2. OBJETIVOS 29
1.2.1. Objetivo geral 29
1.2.2. Objetivos específicos 29
1.3. METODOLOGIA 30
1.3.1. Área de estudo 30
1.3.2. Obtenção das amostras 31
1.4.1. Caracterização anatômica da madeira 33
1.4.1.1. Descrição Microscópica 33
1.4.1.2. Grã 34
1.5.1. Caracterização física da madeira 35
1.5.1.1. Densidade Básica 35
1.5.1.2. Retratibilidade 36
1.6.1. Caracterização química 37
1.7.1. Delineamento estatístico 40
1.8. RESULTADOS E DISCUSSÃO 41

1.8.1. Características anatômicas da madeira de *Citrus sinensis* 41
1.8.1.1. Descrição das características anatômicas 41
1.8.1.2. Grã 44
1.8.2. Caracterização física da madeira de *Citrus. sinensis* 45
1.8.3. Caracterização química do lenho 48
1.9. CONCLUSÃO 52
CAPÍTULO 2 53
MADEIRA DE *Citrus sinensis* PARA PRODUÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP) 53
***Citrus sinensis* WOOD FOR EDGE-GLUED PANEL (EGP) PRODUCTION 54**
2.1. INTRODUÇÃO 55
2.2. OBJETIVOS 57
2.2.1. Objetivo geral 57
2.2.2. Objetivos específicos 57
2.3. MATERIAL E MÉTODOS 58
2.3.1. Área de coleta 58
2.3.2. Obtenção do material 58
2.3.3. Colagem dos sarrafos 59
2.3.4. Ensaio de cisalhamento das juntas coladas 60
2.3.5. Delineamento estatístico 62
2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 63
2.4.1. Resistência das juntas coladas 63
2.4.2. Efeito do adesivo 64
2.4.3. Efeito da gramatura 67
3.4.4. Correlação de Pearson 69
2.5. CONCLUSÃO 70
CAPÍTULO 3 71
MADEIRA DE *Citrus sinensis* PARA PRODUÇÃO DE PAINEL CIMENTO-MADEIRA 71
***Citrus sinensis* WOOD FOR THE PRODUCTION OF CEMENT-WOOD PANELS 72**
3.1. INTRODUÇÃO 73
3.2. OBJETIVOS 75
3.2.1 Objetivo geral 75
3.2.2. Objetivos específicos 75

3.3. MATERIAL E MÉTODOS 76
3.3.1. Materiais 76
3.3.1.1. Resíduo da madeira da laranjeira 76
3.3.1.2. Cimento 77
3.3.1.3. Acelerador de pega 78
3.3.1.4. Microssílica 78
3.3.1.5. Água 78
3.3.2. Métodos 78
3.3.2.1. Pré-tratamento das partículas 78
3.3.2.2. Cálculo de materiais para confecção dos painéis 80
3.3.2.3. Produção dos painéis 81
3.3.2.4. Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis 83
3.3.3. Análise estatística 84
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 85
3.4.1. Propriedades físicas dos painéis 86
3.4.2. Propriedades mecânicas dos painéis 91
3.5. CONCLUSÃO 97
CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES 98
REFERÊNCIAS GERAIS 99

INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Citrus* é, entre as frutíferas desse tipo, o mais cultivado e comercializado em nível mundial, sendo também uma das frutíferas comerciais mais difundidas pelo planeta. Dentre as espécies de *Citrus*, a que se destaca em cultivo é a *Citrus sinensis* L. Osbeck (laranja doce), principalmente devido às suas frutas que apresentam propriedades tanto alimentícias quanto medicinais (Dongre *et al*., 2023). Segundo a United States Department of Agriculture (2024), a produção mundial de laranja em 2024 totalizou 47,7 milhões de toneladas, representando um crescimento de 1% em relação ao ano anterior. Neste cenário, destacam-se o Brasil, com 15,3 milhões de toneladas, e a China, com 7,6 milhões de toneladas, como os principais produtores desse fruto no mundo.

Em razão dessa alta demanda, as áreas de plantio e as renovações de pomares são crescentes, visando uma maior produtividade e resultando também em uma grande quantidade de produção de material lenhoso ao final do ciclo produtivo. Esse material lenhoso tem como principal destinação a queima para geração de energia (Provinciano *et al*., 2014; Silva *et al*., 2011; Bortolan, 2012; Fundecitrus, 2013), já que não há relatos de outras destinações conhecidas para o material.

Simultaneamente à questão da elevada produção de resíduos lignocelulósicos, o setor da construção civil brasileira acompanha a tendência global em busca de sustentabilidade demonstrado pela procura por novos materiais que causem menos danos ao meio ambiente, conhecidos como *eco-friendly* (Barbosa *et al*., 2020). Essa preocupação ambiental se intensifica especialmente com os dados apresentados, por exemplo, em relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que enfatizam os efeitos das mudanças climáticas em nosso planeta (IPCC, 2012).

Essa crescente demanda por materiais sustentáveis busca atenuar diversos problemas, uma vez que o setor da construção civil apresenta intensa emissão de gases de efeito estufa. Além disso, esse setor consome muitos recursos naturais, como energia e água, e gera uma quantidade significativa de resíduos (CBCS, 2011). Com o objetivo de diminuir esses impactos e promover o reaproveitamento de resíduos na construção civil, várias pesquisas estão sendo realizadas para o desenvolvimento de compósitos a partir de matérias-

primas renováveis, utilizando fibras naturais e resíduos do setor agroindustrial que apresentem custos reduzidos e propriedades físicas e mecânicas iguais ou superiores ao de materiais tradicionalmente empregados na construção civil, (Lahr *et al*., 2015; Silva *et al*., 2012; Fernandes *et al*., 2020; Mendes *et al*., 2010; Colli *et al*., 2010; Ferraz *et al*., 2011; Fioreli *et al*., 2012; Cravo *et al*., 2015; Melo *et al*., 2014; Bueno, 2014).

Uma alternativa seriam os painéis reconstituídos, que podem ser fabricados a partir de uma variedade de materiais lignocelulósicos, desde que apresentem desempenho físico e mecânico satisfatório (Souza *et al*., 2021). No entanto, ao utilizar matérias-primas alternativas às tradicionais, a qualidade final do painel pode ser afetada, pois é dependente das propriedades específicas de cada material, o que destaca a necessidade de diversificar e aprofundar as pesquisas nessa área.

Assim, a utilização da madeira da laranjeira na fabricação de painéis pode representar uma opção para as indústrias do setor, além de potencializar a oferta de novos produtos. A produção desses painéis visa colaborar com as indústrias florestais e agroindustriais, aproveitando resíduos e promovendo a criação de novos produtos que possuam maior valor agregado.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Este estudo teve como objetivo geral analisar a viabilidade do aproveitamento do material lignocelulósico da espécie *Citrus sinensis*, após o ciclo de vida útil, visando à produção de painéis reconstituídos. Essa pesquisa busca incentivar a utilização de resíduos agroindustriais, transformando-os em produtos com maior valor agregado.

Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

I) Avaliar as propriedades anatômicas, físicas e químicas do resíduo estudado;

II) Avaliar a qualidade das juntas coladas de sarrafos a partir da madeira de laranjeiras; e

III) Avaliar a qualidade de painéis cimento-madeira produzidos com partículas obtidas a partir do lenho de laranjeiras.

REVISÃO DE LITERATURA

A espécie *Citrus sinensis*

O gênero *Citrus*, pertencente à família Rutaceae, apresenta diversas formas vegetais, tais como: árvores, arbustos e ervas, com distribuição ao redor do globo (Khan, 2007; Sicari *et al.,* 2018; Wang *et al*., 2019). A espécie *Citrus sinensis*, popularmente conhecida como laranja doce, tem sua origem no sudeste Asiático, com registros de cultivo na China que remontam a meados de 2.500 a.C. (Pineda-Lozano *et al*., 2022). Atualmente, seus frutos são encontrados nas mais diversas regiões do mundo (Ladaniya, 2010).

A introdução das mudas de *C. sinensis* no Brasil advém do início da colonização com a finalidade de combater o escorbuto, doença que sucede a deficiência de vitamina C, que acometia as tripulações das navegações (Silva; Oliveira, 2023). A distribuição da espécie no Brasil foi amplamente difundida devido a adaptação às condições edafoclimáticas do país (Silva; Oliveira, 2023), resultando em produção durante o ano inteiro (Osorio *et al*., 2017).

Na década de 1960 o Brasil se estabeleceu como um polo citrícola, ganhando destaque na economia principalmente à grande exportação de suco de laranja, se tornando o maior produtor global do fruto e do suco (AGRIANUAL, 2016; Boteon; Neves, 2005; FAO, 2017). O país também é o maior produtor mundial de seus derivados, como o suco concentrado e congelado, polpa de fruta, doces em calda, fruta cristalizada, fermentados alcoólicos e acéticos (Cypriano *et al*., 2017). Portanto, o Brasil é referência mundial na citricultura (Feitoza; Gasparotto, 2020), responsável por 31% da produção mundial da fruta na safra 2020/21, e por 63,4% do volume global de suco de laranja (USDA, 2022), com uma área colhida de 575.437 ha (IBGE, 2023a).

A citricultura nacional está fortemente voltada para a produção de laranja, com destaque para a região Sudeste do país (13.643.857 t), que concentra os maiores polos citrícolas do país (Lopes *et al*., 2011; Vidal, 2022), seguido pelo Nordeste (1.287.269 t), Sul (1.256.945 t), Norte (629.002 t) e Centro-Oeste (205.625 t) (IBGE, 2020).

No estado do Pará a introdução da citricultura apresentou sucesso no setor agrícola, principalmente por ser o primeiro estado reconhecido oficialmente como uma região livre do Cancro Cítrico pelo Ministério da Agricultura, Pecuária

e Abastecimento (MAPA) por meio das Resoluções n° 1 e n° 6 em 2017 e segundo os termos da Instrução Normativa n° 37/2016 (Pará, 2017).

O estado do Pará é responsável por 1,64% (257.176 toneladas) da produção no Brasil, com área colhida de 15.061 hectares e com valor de produção de R$ 229.101,00 (IBGE, 2023b). Por sua vez, o município de Capitão Poço, que fica na mesorregião do Nordeste paraense, se destaca como principal produtora de laranja – produz cerca de 80% da laranja do estado.

O cultivo de frutas cítricas gera uma quantidade significativa de resíduos de madeira resultante da renovação do pomar (Aliaño-González *et al*., 2022), resíduos estes que são comumente destinados pra fins energéticos, destinação que necessita de autorização do órgão ambiental (Bortolan, 2012; Fundecitrus, 2013).

Existem alguns estudos para o aproveitamento desses resíduos, especificamente para *Citrus sinensis* L. Osbeck há o uso do bagaço de laranja para produção de etanol de segunda geração (Cypriano *et al*., 2017); da casca de laranja para remoção de metais (Cechinel; Feltrin, 2024), como adsorvente no tratamento de efluentes têxteis (Nascimento *et al*., 2019) e para a produção de biochar (Mary *et al*., 2016). Os estudos sobre a madeira de laranja ainda são incipientes, focando-se principalmente em seu aproveitamento para fins energéticos (Dias *et al.*, 2024; Gutiérrez-Acosta *et al.*, 2021), além de um único estudo sobre o potencial de utilização da madeira de *Citrus sinensis* para a confecção de pisos (Berti *et al*., 2018).

O potencial de sua utilização na construção civil é relatado no estudo desenvolvido por Giudice (2022) sobre a confecção e caracterização de painel de partículas combinando *Citrus sinensis* com *Quercus serris*. A destinação de resíduos como matéria-prima para produção de novo material é uma tendência que vem ganhando força nas últimas décadas com os esforços de mitigação de impactos ambientais e a da adoção de princípios da economia circular (Borschiver; Tavares, 2022; Evangelista, 2021; Marchesan *et al*., 2022). Especificamente no setor da construção civil, o uso de materiais ambientalmente amigáveis (*eco-friendly*), renováveis e biodegradáveis tem ganhado espaço não só pelo supracitado, mas também pela necessidade de novos materiais.

Características da madeira de *Citrus sinensis*

A madeira de *Citrus sinensis*, tanto do galho quanto do tronco, foi caracterizada por alguns autores. As principais características anatômicas, físicas, mecânicas e químicas são apresentadas relatadas nesses estudos estão agrupadas na Tabela 1 a seguir.

TABELA 1 – RESULTADOS DE ESTUDOS SOBRE *Citrus sinensis* NA LITERATURA.

(continua)

Característica	**Valor**	**Referência**
Densidade	827 kg/m³	Berti *et al*. (2018)
	666 kg/m³	Berti *et al*. (2018)
	0,57-0,78 g/cm³	Tichi *et al*. (2020)
	0,60 g/cm³	Kravetz, Brito (2014)
	0,603-0,795 g/cm³	Kesik *et al*. (2017)
	0,54 g/cm³	Silva *et al*. (2018)
Contração total/volumétrica	15,65%	Berti *et al*. (2018)
	13,87%	Silva *et al*. (2018)
Contração longitudinal	0,56%	Berti *et al*. (2018)
	0,11%	Kesik *et al*. (2017)
	0,72%	Silva *et al*. (2018)
Contração tangencial	7,90%	Kesik *et al*. (2017)
	9,00%	Silva *et al*. (2018)
Contração radial	7,49%	Kesik *et al*. (2017)
	4,62%	Silva *et al*. (2018)
Anisotropia de contração	2,0	Silva *et al*. (2018)
Dureza Brinell	4,8 kgf/mm²	Berti *et al*. (2018)
Resistência à flexão	140,93 N/mm²	Kesik *et al*. (2017)
MOE	11733,22 N/mm²	Kesik *et al*. (2017)
Resistência à compressão paralela	54,65 N/mm²	Kesik *et al*. (2017)
Extrativos (galho)	0,5-10,3%	Gutiérrez-Acosta *et al*. (2021)
Extrativos	6,34%	Dias *et al*. (2024)
	6,80-14,30%	Kesik *et al*. (2017)
Holocelulose (galho)	69,5%	Gutiérrez-Acosta *et al*. (2021)
Holocelulose	80,42%	Kesik *et al*. (2017)
Lignina (galho)	21,2%	Gutiérrez-Acosta *et al*. (2021)

(continua)

Característica	Valor	Referência
Lignina	20,82	Kesik *et al*
Celulose	50,68%	Kesik *et al*. (2017)
Cinzas (galho)	0,4%	Gutiérrez-Acosta *et al*. (2021)
	0,38%	Rutiaga-Quiñones *et al*. (2020)
Cinzas	1,11%	Dias *et al*. (2024)
	2,42%	Kesik *et al*. (2017)
Carbono fixo (galho)	9,10%	Rutiaga-Quiñones *et al*. (2020)
Comprimento de fibra	0,65-0,76mm	Tichi *et al*. (2020)
Espessura de parede da fibra	213,07 µm ± 35,64 µm	Eromosele (2016)
	9,97-14,41 µm	Tichi *et al*. (2020)
Poder calorífico superior (galho)	20,2 MJ/kg	Gutiérrez-Acosta *et al*. (2021)
	18,26-19,83%	Rutiaga-Quiñones *et al*. (2020)

FONTE: A autora (2025).

Poucas pesquisas sobre a madeira de laranjeira foram realizadas, especialmente no que diz respeito às suas aplicações (Eromose, 2016; Kesik *et al*., 2017; Berti *et al*., 2018; Gutiérrez-Acosta *et al*., 2021). Em todos os estudos revisados, não foram encontrados dados sobre a idade da espécie analisada, o que pode levar a variações nos materiais examinados, além das particularidades do ambiente de coleta (condições de sítio).

Painéis reconstituídos de madeira

Os painéis reconstituídos têm mostrado um significativo avanço, especialmente devido à crescente procura por esses produtos; isso é evidenciado pelos dados divulgados pela Indústria Brasileira de Árvores, que indicam que o consumo brasileiro de painéis de madeira em 2023 alcançou 8,5 milhões de m³, superando o total do ano anterior (IBÁ, 2023). O Brasil possui características favoráveis que o posicionam como um potencial grande produtor de painéis de madeira. Isso se deve à sua vasta área de florestas de crescimento rápido e à disponibilidade de materiais alternativos, como resíduos de madeira sólida, agroindustriais e subprodutos ou restos provenientes de serrarias (Macêdo *et al*., 2012).

A forma de empregar esses materiais também tem mudado ao longo do último século, buscando não apenas atender às necessidades de sustentabilidade, mas também de inovação e qualidade (Lanhe; Israel; Haupt, 2024). Dentre os produtos de madeira com alto valor agregado, destacam-se os painéis, sejam particulados ou de fibras. De acordo com a IBÁ (2024), 6% da madeira plantada no país utilizada para a produção de painéis (MDP, MDF e OSB) e pisos (HDP e HDF), setor que apresentou crescimento entre 2010 e 2019, destacando-se os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Painel colado lateralmente (*Edge glued panels* – EGP)

Os painéis colados lateralmente são produzidos pela junção de sarrafos colados lateralmente por adesivos (Tienne *et al*., 2011), sendo amplamente utilizados para a produção de móveis (Lahne; Israel; Haupt, 2024). De acordo com Souza *et al*. (2020), a matéria-prima para a produção desses painéis no Brasil é majoritariamente proveniente de resíduos (provenientes de desbastes, serrarias, marcenarias, etc.). Por sua vez, os principais adesivos utilizados nesses painéis são a emulsão polimérica de isocianato (EPI) e poliacetato de vinila (PVA) (Iwakiri *et al*., 2021). O primeiro é comumente conhecido como “cola branca”, é resultante da polimerização do acetato de vinila, e a sua utilização como adesivo resulta em um painel com alta resistência mecânica em ambiente seco, mas com uso limitado em ambientes que apresentam alta umidade relativa e temperaturas (Iwakiri *et al*., 2021; Pizzi, 1983). O EPI é um adesivo resultante da combinação de poliacetato de vinila e isocianato polimérico, sendo este último componente o catalisador da cura do adesivo (Iwakiri *et al*., 2021). Ao contrário do PVA, o EPI apresenta alta resistência à água e temperatura, além disso também apresenta cura rápida e boa estabilidade, porém tem maior custo (Frihart; Hunt, 2010). Outro adesivo comumente utilizado na indústria de painéis é a melamina ureia formaldeído (MUF), derivada do petróleo e com rápida cura, também apresenta resistência à umidade (Iwakiri, 2005).

Painel cimento-madeira

O compósito cimento-madeira é composto de partícula de madeira, cimento, acelerador de cura e água. Sua prensagem é realizada à frio, são virtualmente incombustíveis, apresentam alta resistência à umidade e ao ataque

de fungos e insetos, além de apresentar a característica de ser isolante térmico e acústico, sendo, portanto, empregados na construção civil em paredes externas, forro e piso (Iwakiri; Trianoski, 2020). Ainda segundo estes autores, esses painéis podem ser de três tipos: *Excelsior*, *flake* e blocos para construção.

Para a produção desse tipo de painel são utilizados, além da madeira, cimento (tipo Portland, com cura rápida) que tem papel aglutinante; água, que atua na hidratação do cimento, dissolução de aditivos químicos e homogeneização dos componentes do painel; e um acelerador do endurecimento do cimento, como silicato ou cloreto de cálcio, sendo este último extensivamente utilizado na produção desse tipo de painel em razão do seu custo-benefício (Iwakiri *et al*., 2017). Além desses elementos, a microssílica também pode ser adicionada para aumentar a resistência mecânica do compósito (Castro, 2021).

As propriedades químicas e físicas dos seus componentes irão influenciar, consequentemente, as propriedades e características do painel resultante e podem prejudicar a cura do cimento, podendo inclusive inibi-la (Ahn; Moslemi, 1980; Hachmi; Campbell, 1989; Iwakiri; Trianoski, 2020). Assim, é de suma importância analisar e caracterizar a madeira de interesse para entender seus componentes e como eles podem interagir com os demais componentes de um painel.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*

RESUMO

Citrus sinensis (L) Osbeck, conhecida popularmente como laranjeira ou laranja doce, é a espécie mais cultivada e comercializada do gênero *Citrus*, sendo o Brasil o maior produtor e fornecedor mundial do suco desse fruto. Ao fim do seu ciclo produtivo, há a geração de resíduos lignocelulósicos que apresentam potencial para aproveitamento, sendo necessário primeiramente caracterizá-los e assim melhor destiná-los. Portanto, este capítulo teve como objetivo determinar as propriedades anatômicas, físicas e químicas do tronco, galho e casca de *Citrus sinensis*, visando obter informações sobre o material que agregue valor e uso ao resíduo. Desta forma, foi realizada a caracterização microscópica e desvio da grã da madeira do tronco. Além disso, foram avaliadas as seguintes propriedades físicas: densidade básica (madeira do tronco e galho); retratibilidade e coeficiente anisotrópico (apenas para a madeira do tronco. Foram analisados os seguintes componentes químicos (tronco, galho e casca): teor de extrativos, materiais inorgânicos e lignina. A madeira de *C. sinensis* apresentou porosidade difusa, placas de perfuração simples, fibras espessas, pontoações intervasculares opostas, cristais prismáticos e desvio normal da grã. A madeira foi classificada como de média densidade (0,593 g/cm³), com valores baixos de contração longitudinal (0,36%), radial (3,95%) e tangencial (9,42%), e para o coeficiente de anisotropia (2,12) de média estabilidade, indicando a susceptibilidade dessa espécie frente aos defeitos de secagem. De modo geral, casca apresentou maiores valores médios em relação ao tronco e galho nos resultados das análises químicas. Portanto, a partir dos dados obtidos, é possível afirmar que o resíduo lignocelulósico (madeira e casca) de laranjeira apresenta propriedades compatíveis para a produção de painéis reconstituídos.

Palavras-chave: resíduo agroindustrial; anatomia, densidade básica, extrativos totais, tronco, galho e casca de laranjeira.

ANATOMICAL, PHYSIC AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF *Citrus sinensis* WOOD

ABSTRACT

Citrus sinensis (L) Osbeck, popularly known as the orange tree or sweet orange, is the most cultivated and commercialized species of the *Citrus* genus, and Brazil is the world's largest producer and supplier of this fruit's juice. At the end of its production cycle, lignocellulosic waste is generated that has potential for further use, however it is necessary to first characterize it for better and adequate employment. Therefore, the aim of this chapter was to determine the anatomical, physical and chemical properties of the stem, branch and bark of *Citrus sinensis*, to obtain information about the material which will add value and provide a better use for the material. Microscopic characterization and grain deviation of the stem wood were carried out. Additionally, the following physical properties were assessed: basic density (stem and branch wood); shrinkage and anisotropic coefficient (only for stem wood). The following chemical components were analyzed (for stem, branch and bark): extractive content, inorganic materials and lignin content. *C. sinensis* wood had diffuse porosity, simple perforation plates, thick fibers, opposing intervascular pits, prismatic crystals and normal grain deviation. The wood was classified as medium density (0.593 g/cm³), with low longitudinal (0.36%), radial (3.95%) and tangential (9.42%) shrinkage values, and a medium stability anisotropy coefficient (2.12), indicating the susceptibility of this species to drying defects. In general, the bark had higher average values than the stem and branch for the chemical analysis results. Therefore, based on the data obtained, it is possible to state that the lignocellulosic residue (wood and bark) from orange trees has compatible properties for the production of reconstituted panels.

Keywords: agro-industrial waste; anatomy, basic density, total extractives, orange tree stem, branch and bark.

1.1 INTRODUÇÃO

Citrus sinensis (L) Osbeck é uma árvore frutífera, popularmente conhecida como laranjeira, pertencente à família Rutaceae e seu fruto é a laranja doce. As árvores dessa espécie geralmente apresentam 4 a 5 m de altura, com diâmetro médio do caule de 14,9 cm, já que usualmente bifurca em três ou quatro ramos a partir de 50 cm de altura (EMBRAPA, 2005). O ciclo de vida dos pomares de *C. sinensis* varia entre 16 anos para cultivos intensivos e mais de 40 anos para cultivos extensivos, sendo os indivíduos improdutivos então cortados e substituídos (Giudice *et al.*, 2022).

O cultivo de laranjeira está amplamente presente na América do Sul e na Ásia, países de origem desta espécie. O Brasil é o maior produtor de laranja do mundo, seguido pelos Estados Unidos e pela União Europeia (Berti *et al.,* 2018). Os resíduos gerados em plantios de laranjeiras são estimados em cerca de 1,8 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ (Burg *et al.,* 2017) sendo a maior parte dessa biomassa queimada nos campos ou usada para reposição/suplementação das necessidades nutricionais agrícolas do plantio (Giudice *et al.,* 2022).

Estudos sobre a espécie se concentram na avaliação dos sucos dos frutos ou parte do fruto, enquanto, até o momento investigações mais amplas não foram feitas a respeito da madeira da árvore de *Citrus sinensis*, raramente sendo avaliadas as propriedades físicas e químicas da madeira (Bruno *et al.,* 2020).

A madeira é parte de um sistema biológico complexo – a árvore, e como tal é um material altamente variável. Sua estrutura anatômica, bem como suas propriedades físicas e químicas variam de espécie para espécie, e mesmo de uma parte para outra na mesma árvore (Marcati, 1992). Por ser um recurso renovável e um dos materiais industriais mais consumidos, entender e conhecer bem as propriedades da madeira influenciará positivamente na sua destinação, e é, portanto, de suma importância entender suas propriedades anatômicas, físicas e químicas (Dündar; Büyüksari, 2016).

Após o fim de vida útil das árvores de laranjeiras, que acontece entre 15 e 20 anos, não há aproveitamento econômico do material lenhoso. Assim, contemplando uma cadeia produtiva mais sustentável, há o interesse de melhor destinação desse resíduo agroindustrial, visando um impacto ambiental reduzido. Além disso, busca-se avaliar o potencial tecnológico da madeira de

Citrus sinensis, agregando valor ao material e ampliando o conhecimento sobre a espécie em questão.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo deste capítulo foi determinar as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira e da casca da espécie *Citrus sinensis*.

1.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse capítulo foram:

I) Avaliar as características anatômicas e classificar a grã da madeira;

II) Avaliar a densidade básica e retratibilidade;

III) Avaliar composição química.

1.3. METODOLOGIA

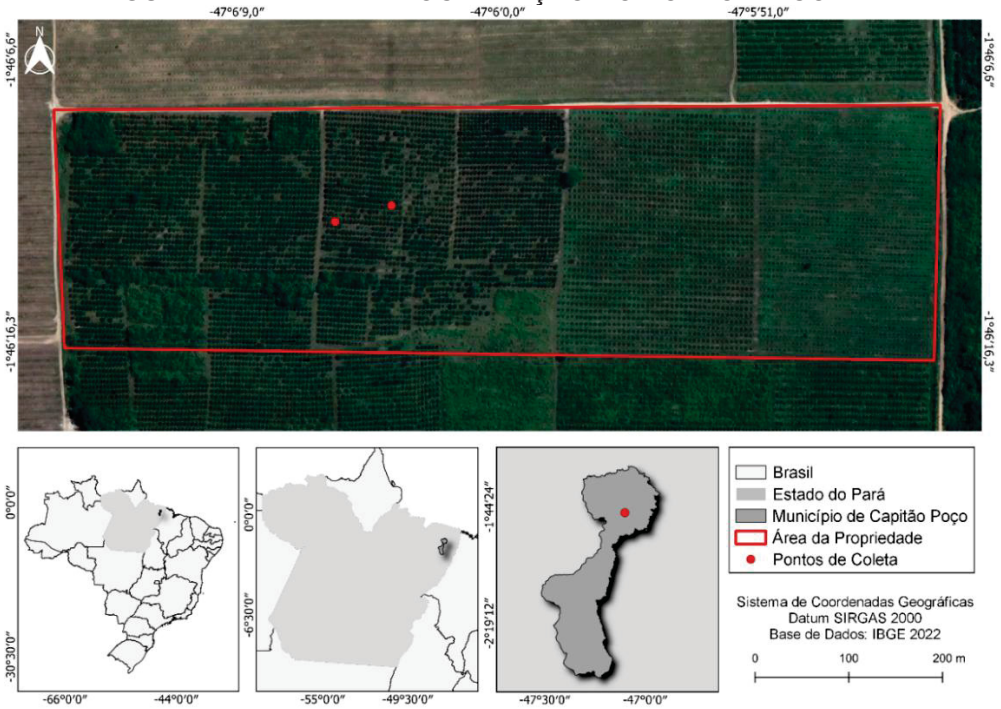
1.3.1. Área de estudo

O material foi coletado em um plantio comercial da Empresa Lima Citros (Cítricos do Pará S/A), que possui 5 mil hectares de plantação. Além de produzir mudas exclusivamente para a própria produção no campo, a empresa tem como principal objetivo fornecer frutas tanto para indústrias quanto para o mercado interno.

A empresa cultiva 80% de laranjas, enquanto o restante é dividido entre limões e tangerinas. A área para renovação do pomar é de aproximadamente 250 hectares. A vida útil produtiva de uma árvore nessa empresa é estimada entre 15 a 20 anos.

Os resíduos lignocelulósicos da espécie *Citrus sinensis* (laranja doce) utilizados neste estudo foram obtidos na Fazenda Lima 1 da empresa Citros, que está localizada na rodovia PA 25 – Km 4, Travessa São Benedito, no Município de Capitão Poço, pertencente à região do Guamá, estado do Pará. O município está localizado no nordeste paraense a cerca de 217 km da capital, Belém (Figura 1.1).

FIGURA 1. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA.



FONTE: A autora (2025).

Os solos da região são do tipo latossolo amarelo álico, com textura média e o clima é tipo Ami conforme a classificação de Köppen, com maiores índices de pluviosidade de janeiro a maio, e os menores de agosto a novembro; a temperatura apresenta amplitude de 25,7°C a 26,9°C, com média anual de 26,2°C (Silva *et al*., 2011).

1.3.2. Obtenção das amostras

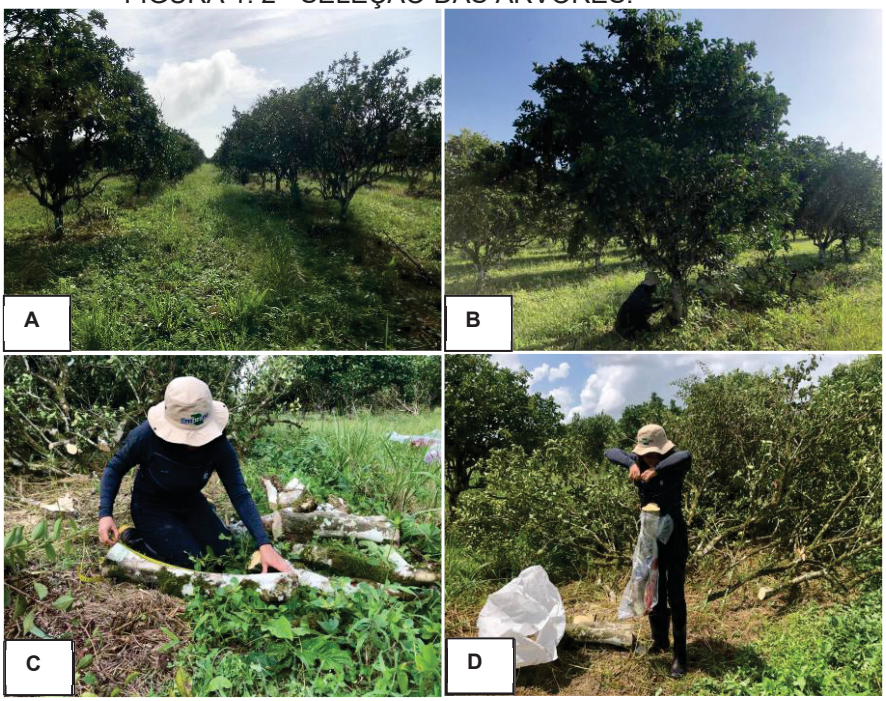
Os indivíduos coletados são provenientes de um plantio com espaçamento de 6,8 x 3,5 m. A escolha das árvores se deu de forma visual e aleatória considerando a fitossanidade, afastadas de árvores mortas e excluindo-se indivíduos da primeira fileira do pomar (evitar a influência do efeito de borda).

Dez árvores no fim de seu ciclo produtivo (ou seja, entre 15 e 20 anos) foram selecionadas antes da renovação do pomar. A circunferência do tronco de cada árvore escolhida foi medida em três alturas: circunferência acima do solo, circunferência a cerca de 50% da altura comercial e circunferência antes da primeira bifurcação. Foi medida também a altura comercial da árvore, sendo considerada a porção da base até a primeira bifurcação do tronco.

Logo após a derrubada, a altura total da árvore foi mensurada considerando-se o ponto de incisão para derrubada até a última folha da copa. As árvores foram cortadas e seccionadas usando motosserra.

Também após a derrubada, escolheu-se os galhos, dando preferência aos mais grossos e com menor tortuosidade. Os galhos foram medidos quanto ao comprimento e circunferências da sua base, ou seja, próximo a inserção do galho ao tronco (0), meio (1) e extremidade (2), além de pesagem (troncos e galhos) e seccionamento (Figura 1.2).

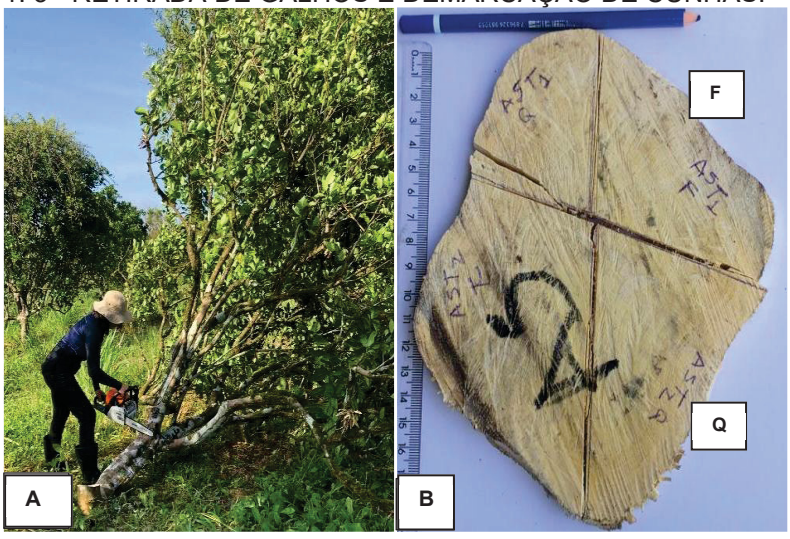
FIGURA 1. 2 - SELEÇÃO DAS ÁRVORES.



LEGENDA: A – Escolha das árvores de forma aleatória e visual; B – obtenção das medidas do tronco antes do corte; C – obtenção das medidas dos galhos selecionados após corte; D – pesagem dos galhos e troncos.
FONTE: A autora (2025).

Para as análises físicas e químicas, destinou-se um disco de cada tronco e do galho mais grosso de cada árvore, sendo que cada disco foi seccionado em quatro partes no formato de cunha. As duplas de cunhas simetricamente opostas foram destinadas para o mesmo ensaio (Figura 1.3).

FIGURA 1. 3 - RETIRADA DE GALHOS E DEMARCAÇÃO DE CUNHAS.



LEGENDA: A – ferramenta usada para extrair as amostras; B – discos com as cunhas demarcadas quando ao ensaio em que será utilizada, sendo “F” para os ensaios físicos e “Q” para os ensaios químicos.
FONTE: A autora (2025).

1.4.1. Caracterização anatômica da madeira

Os 10 corpos de prova para caracterização anatômica da espécie estudada foram obtidos apenas dos troncos e, foram confeccionados com dimensões de 50 x 20 x 20 e 30 x 20 x 20 milímetros (largura x comprimento x espessura) e devidamente orientados nos três planos anatômicos (transversal, radial e tangencial).

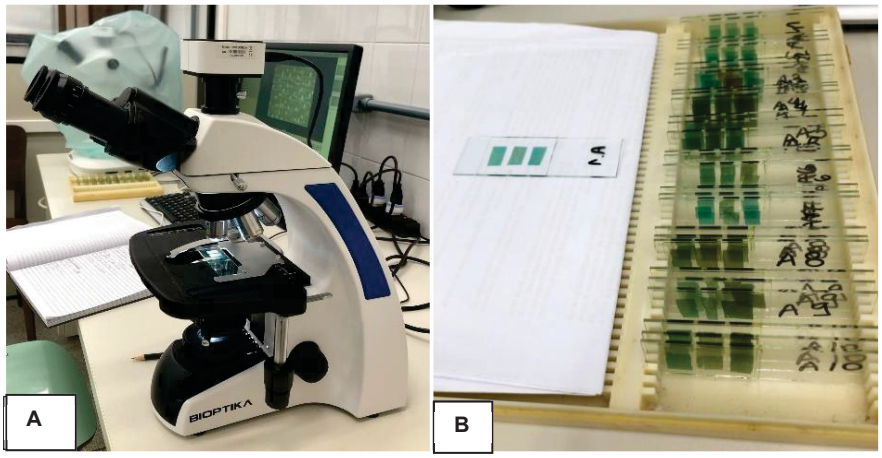
Seguindo a técnica de Johansen (1940), as amostras passaram por cozimento para facilitar o corte histológico com espessura de 25 micrômetro (µm) em um micrótomo de deslize. Os cortes histológicos nas seções dos três planos anatômicos foram corados e desidratados para a montagem de lâminas para a caracterização anatômica microscópica.

1.4.1.1. Descrição Microscópica

Para as análises microscópicas, realizadas no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da Universidade Federal do Paraná, foram produzidas lâminas histológicas com três repetições para cada amostra, totalizando 30 lâminas para determinação das características anatômicas qualitativas e quantitativas.

Com auxílio de um microscópio óptico trinocular Motic (Bioptika) e o *software* Mozaic 2.4.Ink (Tucsen), realizou-se a descrição anatômica segundo as normas da IAWA (1989) e de Muñiz; Coradin (1991). Foram realizadas 30 medições necessárias para cada análise na caracterização dos elementos estruturais anatômicos: diâmetro tangencial (µm), frequência dos vasos (n°vasos.mm^{-2}), altura, largura (µm) e frequência de raios (n°vasos.mm^{-2}) (Figura 1.4).

FIGURA 1. 4 – ANÁLISE ANATÔMICA.

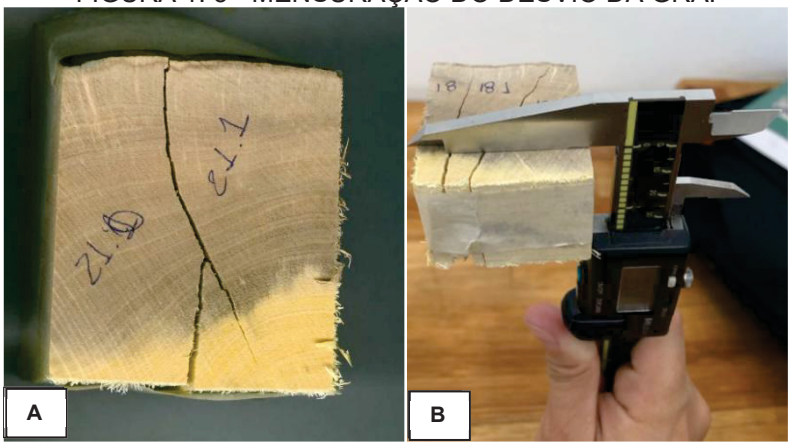


LEGENDA: A – Análise das lâminas histológicas com auxílio do microscópico óptico trinocular Motic; B – lâminas histológicas.
FONTE: A autora (2025).

1.4.1.2. Grã

Utilizou-se 59 corpos de provas, adaptados tanto na altura quanto na largura, para a caracterização da grã da madeira. A mensuração da grã deu-se com subvenção do *software* Imagem-Pro Plus® - Version 4.5.0.29 (Webb 1969) para a medição de rupturas obtidas por meio da aplicação de força manual utilizando um formão e uma faca. As rupturas resultantes expõem o desvio da grã, permitindo sua mensuração e classificação. Para escanear o corpo de prova após ruptura, juntaram-se essas partes fendilhadas por meio de uma fita e a imagem obtida permitiu a mensuração dos desvios por meio de *software*. Um paquímetro digital foi utilizado para realização de duas medidas da altura (Figura 1.5).

FIGURA 1. 5 - MENSURAÇÃO DO DESVIO DA GRÃ.



LEGENDA: A – corpo de prova com ranhura e escaneado; B – mensuração com auxílio de um paquímetro digital.
FONTE: A autora (2025).

A média das alturas, assim como os valores obtidos pelas medições das rupturas em *software* destinaram-se para a obtenção do máximo desvio angular – MAD de acordo com a Equação 1 (Webb, 1969).

$$MAD = \tan - 1\ (EF/L) + \tan - 1\ (GH/L) \qquad (1)$$

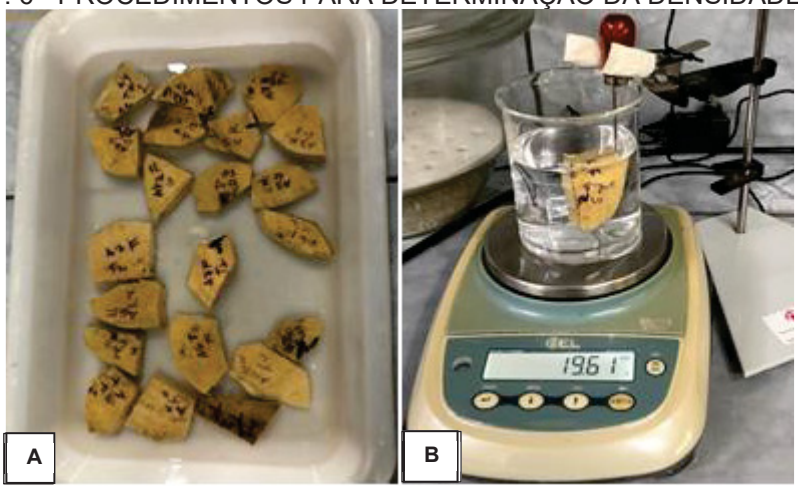
Onde:
MAD = máximo desvio angular (°);
EF = raio do desvio formado pela grã para o lado esquerdo (cm);
GH = raio do desvio formado pela grã para o lado direito (cm);
L = altura da amostra (cm).

1.5.1. Caracterização física da madeira

1.5.1.1. Densidade Básica

No Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira da Universidade Federal Rural da Amazônia realizou-se a caracterização da Densidade básica (Db) segundo a norma NBR 11941 (ABNT, 2003) que é expressa através da relação entre massa seca em estufa, a 103 ± 2 °C, e o volume verde, no caso, acima do ponto de saturação da fibra (em que não há mais variação no seu volume). O deslocamento causado pela imersão da amostra, utilizando uma balança, possibilita a determinação do volume saturado conforme Figura 1.6.

FIGURA 1. 6 - PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA.



LEGENDA: A – Corpos de prova submersos em água destilada para saturação; B – corpo de prova em pesagem para obtenção do volume saturado.
FONTE: A autora (2025).

A massa seca foi obtida colocando as amostras em estufa para a secagem até atingir massa constante. Houve monitoramento recorrente para verificar alteração do peso com auxílio de uma balança analítica (Figura 1.7).

FIGURA 1. 7 - PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DE MASSA SECA.

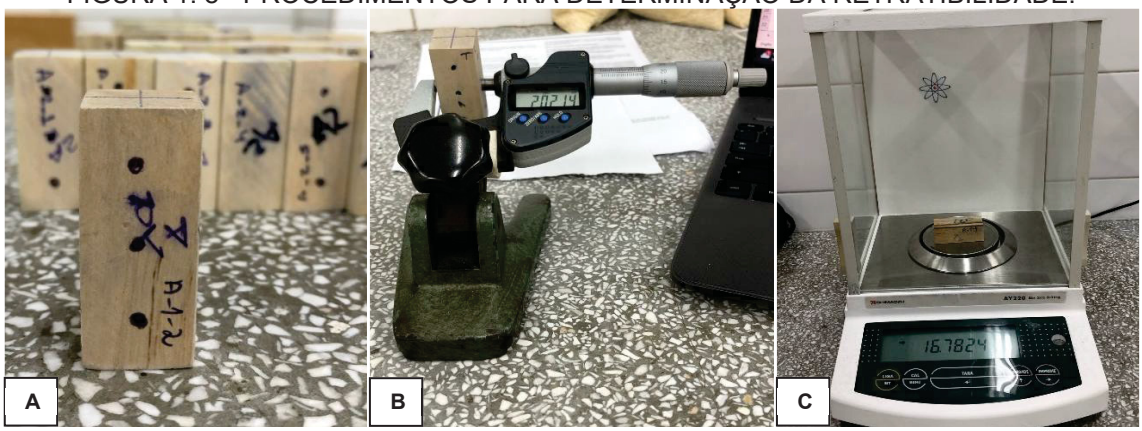
LEGENDA: A – Amostras em estufa para a secagem; B – pesagem do corpo de prova em balança analítica
FONTE: A autora (2025).

1.5.1.2. Retratibilidade

A caracterização da retratibilidade foi realizada segundo a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) no Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná.

Os corpos de prova utilizados para estes ensaios apresentavam seção transversal retangular nas dimensões 20 x 20 x 50 mm e foram provenientes apenas do tronco. As medidas do corpo de prova foram tomadas (na orientação da madeira) nas direções tangencial, radial e longitudinal sendo os valores obtidos com método simples de medição utilizando um paquímetro digital e também um micrômetro, usou-se uma balança analítica para determinação do valor da massa úmida e da massa seca do corpo de prova (Figura 1.8).

FIGURA 1. 8 - PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE.



LEGENDA: A – Corpos de prova demarcados; B – mensuração com auxílio do micrômetro; C – pesagem das amostras em uma balança analítica.
FONTE: A autora (2025).

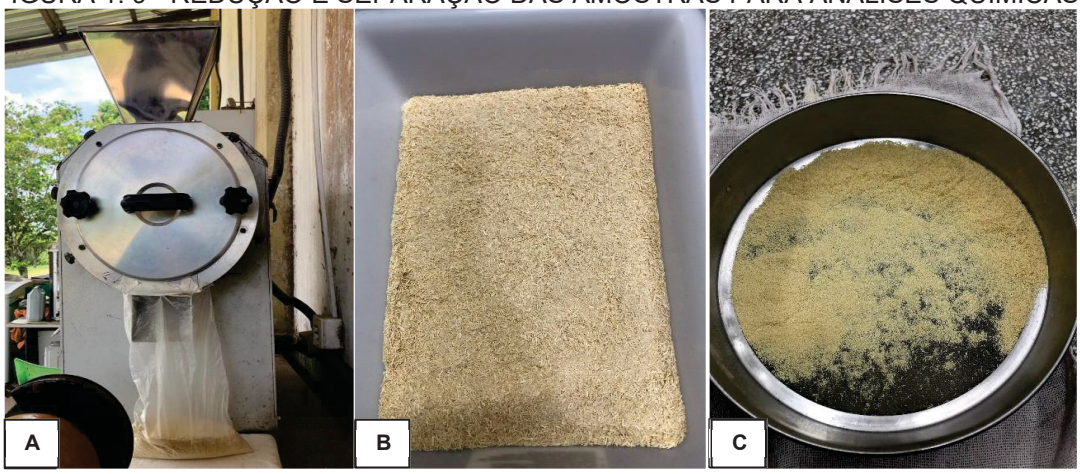
Para a segunda medição desses parâmetros, as mesmas amostras ficaram em uma estufa até 0% de umidade por 24 horas, possibilitando coletar os dados da massa seca e permitindo assim realizar os devidos cálculos de Retratibilidade axial (Ra), Retratibilidade radial (Rr) e a Retratibilidade tangencial (Rt). E foi possível realizar o cálculo para determinar o Coeficiente Anisotrópico (CA), que é a relação entre os movimentos lineares radial e tangencial.

1.6.1. Caracterização química

Para a determinação dos componentes químicos da madeira de *Citrus sinensis*, as cunhas foram reduzidas em seu tamanho a filetes o que possibilitou serem passadas em um macro moinho de facas fixas e móveis, modelo Willey, com finalidade de obtenção de serragem.

Atendendo aos requisitos da norma TAPPI T 257 cm-12 (TAPPI, 2012), o material moído foi classificado em peneiras metálicas sobrepostas com malhas de 40 e 60 *mesh*, no qual o material que ficou retido na de 60 *mesh* foi selecionado para as análises químicas (Figura 1.9).

FIGURA 1. 9 - REDUÇÃO E SEPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES QUÍMICAS.



LEGENDA: A – Redução das amostras em moinho de facas fixas e móveis; B –material moído para análises químicas; C – material retido na peneira de 60 *mesh*.
FONTE: A autora (2025).

As análises químicas ocorreram em triplicata de cada amostra no Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal do Paraná. Na Tabela 1.1 estão detalhados os ensaios executados e suas respectivas normas.

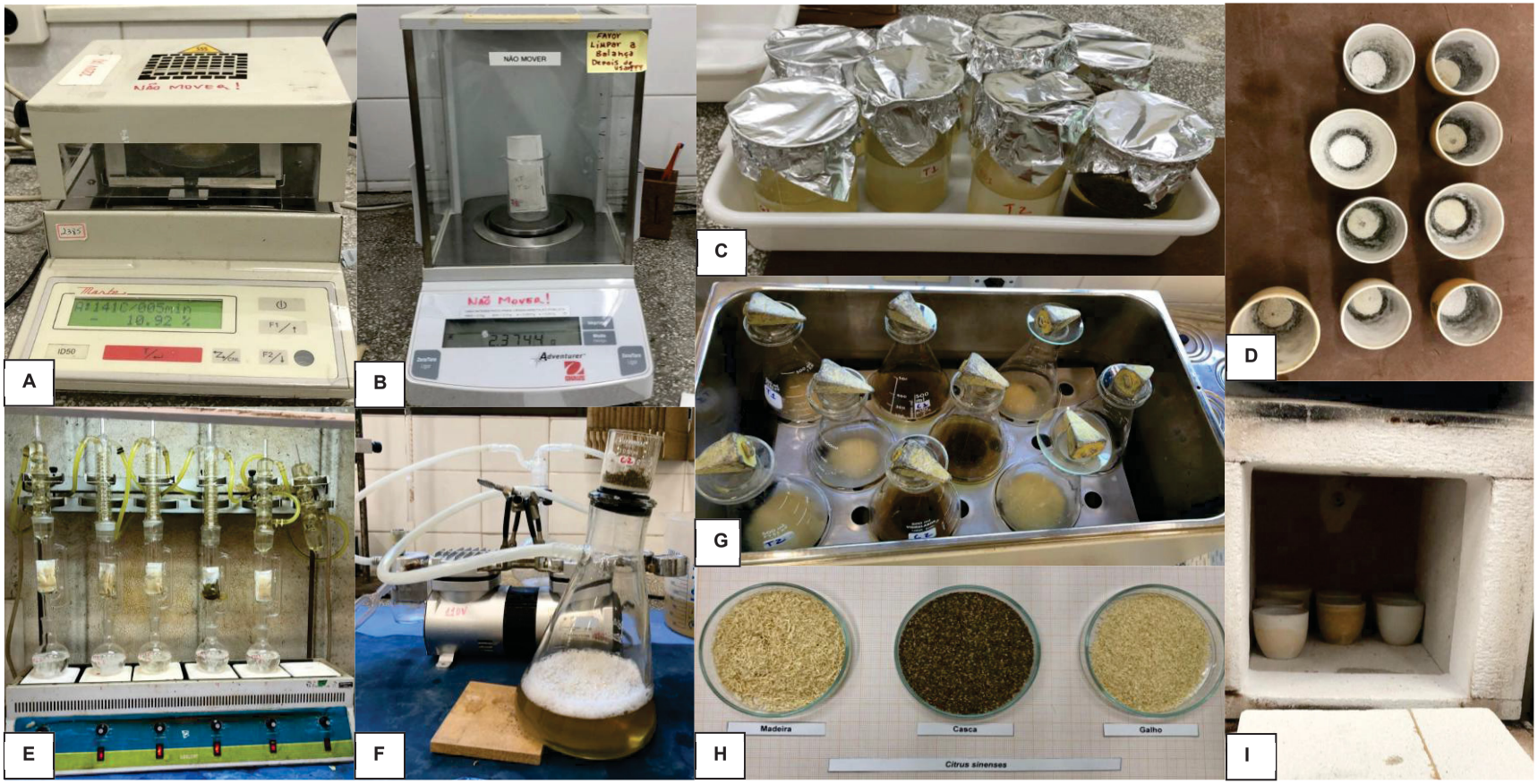
TABELA 1. 1 - ENSAIOS EXECUTADOS, REPETIÇÕES E NORMAS.

Amostras	Análises	Normas
Tronco	Teor de extrativos totais	T 204 (TAPPI, 1997)
	Teor de cinzas	T 211 (TAPPI, 2002)
	Teor de lignina	T 212 (TAPPI, 2008)
Galho	Solubilidade em (NaOH 1%)	T 212 (TAPPI, 2002)
Casca	Solubilidade em água fria	T 207 (TAPPI, 1999)
	Solubilidade em água quente	T 207 (TAPPI, 1999)

FONTE: A autora (2025).

Os procedimentos realizados para as análises químicas estão representados na Figura 1.10.

FIGURA 1. 10 - PROCEDIMENTOS DA ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*.



LEGENDA: A – Balança de aquecimento por infravermelho para o teor de umidade; B – balança analítica com material para pesagem; C – saturação da serragem em água destilada para determinação de extrativos em água fria; D – cadinhos com amostras pós mufla para determinação do teor de lignina.
FONTE: A autora (2025).

1.7.1. Delineamento estatístico

Os dados foram tabulados no *Software Microsoft Office Excel* e a análise estatística foi processada no pacote estatístico *Statgraphics Centurion XIX*. Primeiramente verificou-se *outliers* pelo teste de Grubb's; realizou-se o teste de Bartlett para testar a homogeneidade das variâncias, havendo a homogeneidade das variâncias pode-se proceder a Análise de Variância (ANOVA); quando a hipótese de igualdade pela ANOVA era rejeitada, as médias passaram pelo teste de Tukey.

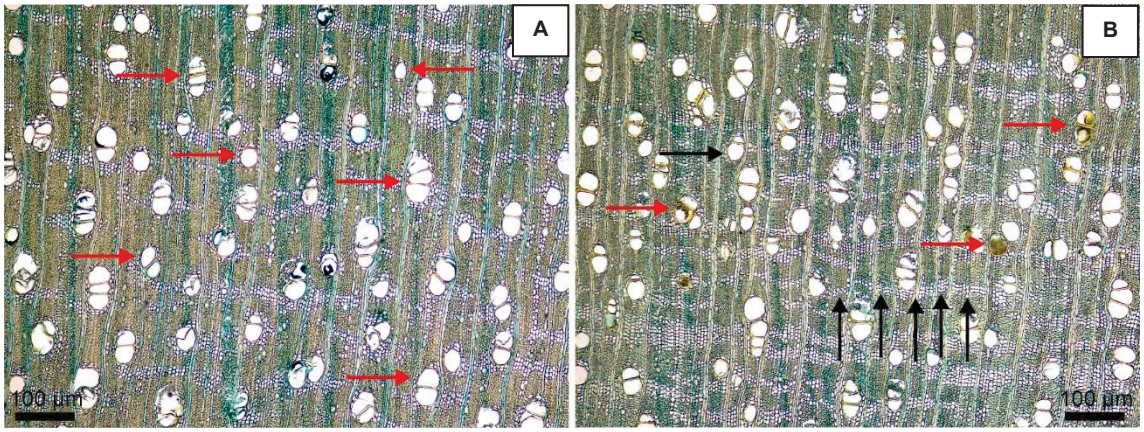
1.8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.8.1. Características anatômicas da madeira de *Citrus sinensis*

1.8.1.1. Descrição das características anatômicas

A madeira de *C. sinensis* apresenta anel de crescimento indistinto, porosidade difusa, agrupamento com predominância de poros geminados, com alguns múltiplos de três na disposição radial e alguns poros solitários; parênquima axial paratraqueal aliforme confluente e parênquima paratraqueal unilateral; presença de fibras espessas e obstrução dos poros por tilos conforme mostra a Figura 1.11.

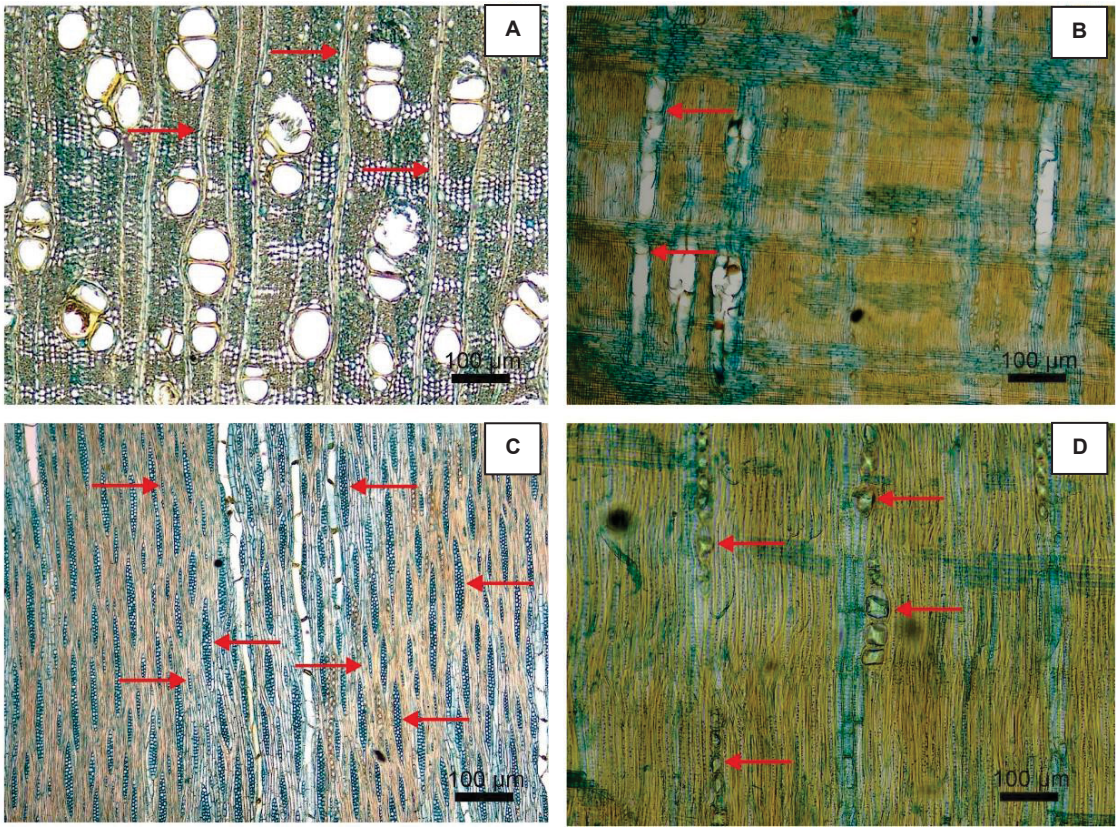
FIGURA 1. 11 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*.



LEGENDA: A – Aspecto dos poros segundo o seu agrupamento na seção transversal (indicado por seta vermelha); B – aspecto dos parênquimas (indicado por seta preta) e poros obstruídos por tilos (indicados por seta vermelha) na seção transversal. Barra de escala 100 µm.
FONTE: A autora (2025).

A madeira de *C. sinensis* apresenta placa de perfuração simples, sem presença de espessamento espiralado; raios homogêneos, com predominância de raios muiltisseriados e alguns unisseriados; fibras não septadas e não estratificadas; pontoações intervasculares opostas; presença abundante de cristais prismáticos (Figura 1.12). Exceto pela presença de cristais prismáticos, diversos estudos (Schneider, 1968; Luiz; Williams, 1994; Eromosele, 2016; Tichi *et al*., 2020) encontraram as mesmas características anatômicas para a espécie estudada.

FIGURA 1. 12 - IMAGENS MICROSCOPICAS DA MADEIRA DE *Citrus sinensis* EM DIFERENTES PLANOS ANATÔMICOS.



LEGENDA: A – Setas vermelhas indicando a ocorrências de fibras espessas; B – Setas vermelhas indicam a ocorrência de placa de perfuração simples; C – raios multisseriados e unisseriados indicados por setas vermelhas; D – ocorrência de cristais prismáticos. Barra de escala 100 µm.
FONTE: A autora (2025).

A anatomia da madeira abrange diversas dimensões dos componentes celulares, incluindo tamanho, arranjo e distribuição das cavidades. Esses fatores estão intimamente ligados à porosidade e à permeabilidade da madeira, características que afetam diretamente a capacidade de mobilidade e penetração do adesivo (Marra, 1992; Pizzi, 1994). Portanto, a anatomia da madeira exerce um papel significativo no processo de colagem.

A espécie apresenta obstrução dos poros (por tilos, óleos ou resinas), e possui uma significativa quantidade de cristais, o que pode dificultar a penetração de resinas, já que quanto maior a obstrução dos poros, maior será a interferência na união dos materiais (Burguer; Richter, 1991).

A Tabela 1.2 apresenta os valores relativos à frequência e ao diâmetro dos poros, assim como à altura, largura e frequência dos raios.

TABELA 1. 2 - DESCRIÇÃO ANATÔMICA QUANTITATIVA DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*

Citrus sinensis	**Poros**		**Raios**		
	Frequência (n/mm²)	**Diâmetro (µm)**	**Altura (µm)**	**Largura (µm)**	**Frequência (n/mm²)**
Média	18,26	66,34	323,65	26,14	8,72
Coeficiente de variação	60,77	30,32	51,20	34,22	14,79
Máximo	80,00	114,97	813,04	67,23	13,00
Mínimo	3,00	20,45	73,63	6,49	6,00

FONTE: A autora (2025).

Os valores médios do presente estudo para a altura e diâmetros dos poros foram superiores aos relatados por Eromosele (2016), que investigou a anatomia do tronco da árvore de *C. sinensis*, e obteve valores médios de 213,07 µm e 35,64 µm para a altura e diâmetro dos poros, respectivamente. Em relação à largura dos poros, o valor médio deste estudo foi inferior ao relatado por Eromosele (2016), que obteve um valor médio de 69,35 µm.

Os dados obtidos estão em conformidade com a literatura, evidenciando que a frequência e diâmetro são parâmetros inversamente proporcionais; ou seja, poros com diâmetros médios mais elevados tendem a ter frequências menores e o oposto é válido também (Reis *et al*., 2024). Em relação a frequência, que é um aspecto relacionado à abundância de poros, a média encontrada foi de 18,26 (n/mm²), valor classificado como poucos poros por milímetro quadrado (Botosso, 2009). De acordo com Coradin e Muñiz (1992), a espécie é considerada de textura fina, uma vez que o diâmetro médio dos poros (66,34 µm) é menor que 100 µm.

O diâmetro médio (66,34 µm) e a frequência (18,26 µm) dos poros foram classificados como médios, porém, a sua altura (323, 65 µm) é classificada como baixa. Por sua vez, a largura (26,14 µm) e frequência (8,72 µm) média dos raios são classificados como médios, em concordância com o estabelecido pela IAWA (1989).

A penetração da resina em materiais lignocelulósicos é favorecida por poros de tamanho adequado, e a aderência entre o adesivo e o material é melhorada pela espessura e comprimento das fibras. Portanto, essa interação potencializa a união dos dois materiais, consequentemente aumentando a resistência ao cisalhamento da junta colada. No entanto, se os diâmetros dos

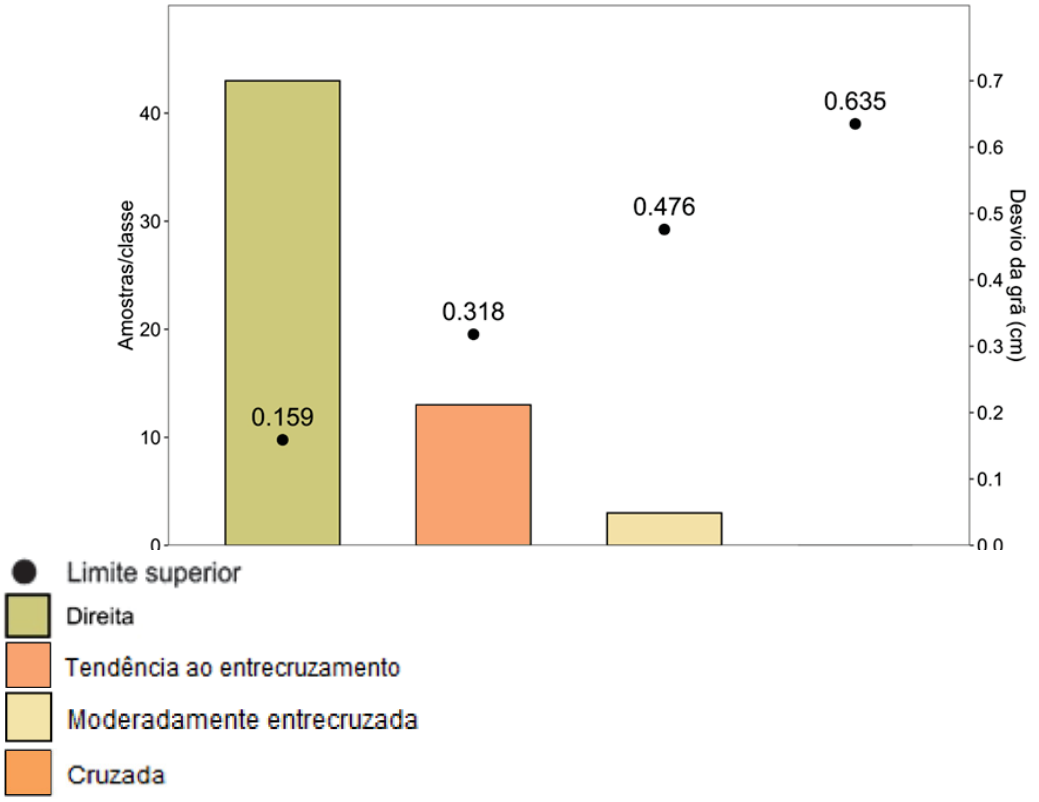
poros forem bem maiores, pode ocasionar em linha de cola faminta, resultando em uma redução na resistência do produto colado (Albino *et al*., 2012).

1.8.1.2. Grã

Entre as características anatômicas mais importantes da madeira que afetam o processo de colagem, destacam-se: os anéis de crescimento (lenho inicial e tardio), percentagem de cerne e alburno, lenhos de reação, grã, porosidade, fibra, parênquima, raios e tiloses (Albino *et al*., 2012). Ademais, a grã da madeira também influi na sua resistência a esforços mecânicos (Burger; Richter, 1991).

De acordo com o sistema de Limaye (1954), a madeira de *C. sinensis* foi classificada, como direita (linheira ou reta); devido ao desvio médio igual 0,15 cm, atingido o limite máximo desta classe (Figura 1.13) para as 43 amostras agrupadas nessa categoria. Porém, outras 13 amostras também apresentaram tendência ao entrecruzamento, e moderadamente entrecruzada, para 3 amostras. Os limites de classe estão são de acordo com Silva *et al*., (2019) e Limaye (1954).

FIGURA 1. 13 - NÚMERO DE AMOSTRAS E CLASSES DO DESVIO DA GRÃ.



FONTE: A autora (2025).

Em termos comparativos, a madeira de laranjeira possui características da grã similares às observadas por Trianoski (2012) em espécies de *Pinus* tropicais, possibilitando usos equivalentes.

Grã direita ou reta é valorizada na prática por oferecer uma alta resistência mecânica, por sua facilidade de desdobro e processamento, além de evitar deformações indesejáveis durante a secagem da madeira. No entanto, sob a perspectiva organoléptica, as superfícies tangenciais e radiais da madeira exibem um aspecto bastante uniforme, sem figuras ornamentais especiais (Burger; Richter, 1991).

1.8.2. Caracterização física da madeira de *Citrus sinensis*

A Tabela 1.3 apresenta os valores médios, coeficiente de variação, máximo e mínimo da densidade básica da espécie estudada.

TABELA 1. 3 - DENSIDADE BÁSICA DA ESPÉCIE *Citrus sinensis*.

Citrus sinensis	**Densidade básica (g/cm³)**				
	Média		**Coeficiente de variação**	**Máximo**	**Mínimo**
Tronco	0,593	b	7,968	0,651	0,512
Galho	0,651	a	3,856	0,715	0,593
Total	0,622		7,643	0,715	0,512

LEGENDA: Médias seguidas pelas mesmas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade.
FONTE: A autora (2025).

A densidade básica média obtida para o tronco foi igual a 0,593 g/cm³ e para o galho foi de 0,651 g/cm³, sendo estatisticamente diferentes entre si. Por outro lado, apesar da diferença estatística, ambos os materiais são classificados como madeira de média densidade, de acordo com a classificação indicada por Melo *et al*. (1990); Vale *et al*. (2002, 2005); Coradin *et al*. (1992); Silva *et al*. (2019). Estes autores classificam madeiras de baixa densidade aquelas que apresentam valores inferiores a 0, 550 g/cm³, média densidade de 0,550 g/cm³ a 0,720 g/cm³, e pesadas ou de alta densidade com valores superiores a 0,730 g/cm³.

Os valores de densidade obtidos neste trabalho estão coerentes aos encontrados na literatura. Os resultados encontrados nesta pesquisa são superiores aos valores relatados por Silva *et al*. (2018) – 0,54 g/cm³, para madeira de *C. sinensis* proveniente de plantios comerciais no Pará, mas ficaram próximos do valor obtido por Kravetz *et al*. (2014) – 0,60 g/cm³, para plantios comerciais em São Paulo. Entretanto, foram inferiores às médias encontradas por Kesik *et al*. (2017) – 0,755 g/cm³ a 0,795 g/cm³, em pomar na Turquia e por Berti *et al*. (2018), que encontraram, para plantios no sul da Itália, média de 0,666 g/cm³. Essas diferenças podem ser atribuídas a origem e idade das árvores, diferença genética e condições de crescimento.

A diferença entre a densidade do galho e do tronco pode estar relacionada com a maior proporção de lenho jovem nos galhos (Minini, 2024). Em termos comparativos com *Pinus*, gênero mais comercializado, Trianoski (2012) estudou oito espécies e variedades e encontrou valores que variaram de 0,389 g/cm³ a 0,489 g/cm³, sendo considerada uma madeira leve, diferindo da madeira de laranjeira, que é classificada como média densidade.

Os resultados da variação da contração e coeficiente de anisotropia estão apresentados na Tabela 1.4.

TABELA 1. 4 - RESUMO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA A RETRATIBILIDADE E COEFICIENTE ANISOTRÓPICO DA MADEIRA DE *Citrus sinensis*.

Citrus sinensis	**Contração (%)**			**Coeficiente Anisotrópico**
	β_t	**β_r**	**β_l**	
Média	9,42	3,95	0,36	2,17
Coeficiente de Variação	25,97	10,81	13,70	15,92
Máximo	12,41	4,33	0,42	2,93
Mínimo	6,45	3,39	0,30	1,54

LEGENDA: β_t = Contração tangencial; β_r = Contração radial; β_l = Contração longitudinal.
FONTE: A autora (2025).

A retratibilidade é a movimentação da madeira (inchamento ou encolhimento) pelo ganho ou perda de água abaixo do ponto de saturação das fibras (Junior; Garcia, 2004). Ainda de acordo com esses autores, a contração tangencial é maior que a radial, e é praticamente desprezível em relação à longitudinal.

Os valores médios da contração foram de 9,42% no sentindo tangencial, 3,95% no radial e 0,36% no longitudinal. Kesik *et al*. (2017) analisaram a mesma espécie abordada neste estudo e encontraram valores médios para variação dimensional da contração, na direção tangencial, inferiores aos encontrados nesta pesquisa, com 7,90% e 0,11% na direção longitudinal. Por outro lado, na direção radial, os valores foram superiores, alcançando 7,49%.

Silva *et al*. (2018), ao estudar a mesma espécie em ambientes semelhantes, encontraram valores equivalentes da contração no sentindo tangencial, radial e longitudinal (9,00%, 4,62% e 0,72%, respectivamente).

Berti *et al*. (2018) obtiveram valores médios superiores, quando comparados com a mesma espécie, de contração no sentindo tangencial (10,52%), no sentindo radial (5,20%) e no sentindo longitudinal (0,56%). Esses autores, que também compararam a madeira de laranjeira com a madeira de carvalho, corroboram que ela apresenta elevada densidade e contração, pois sua estabilidade dimensional, quando comparada a madeira do carvalho, é melhor.

É observado, ainda na Tabela 1.4, que a relação entre a contração tangencial e a radial, isto é, a anisotropia de contração da madeira de *Citrus sinensis* apresentou uma média de 2,17. Este valor foi superior ao relatado por Silva *et al.* (2018) que obtiveram uma média de 2,00. Desta forma, a madeira estudada é considerada de instabilidade média baixa, de acordo com a classificação de Klitzke (2007). Essa classificação avalia a qualidade da madeira com base no coeficiente anisotrópico. Os critérios são os seguintes: abaixo de 1,5 indica que a madeira é muito estável (excelente qualidade); entre 1,6 a 2,0 representa uma estabilidade média baixa (qualidade normal); de 2,0 a 2,5 aponta para uma média instabilidade (baixa qualidade); e acima de 2,5 caracteriza a madeira como muito instável (baixa qualidade).

Em comparação com o gênero mais pesquisado, o *Pinus*, Trianoski (2012) observou que a contração e a anisotropia de oito espécies de pinus tropicais apresentaram variações. A contração tangencial ficou entre 5,74% e 6,55%, enquanto a radial variou de 1,88% a 3,38%. Para a anisotropia, os valores médios obtidos foram de 2,20 a 3,26. Em relação a contração tangencial e radial, a madeira de laranjeira apresenta valores bem superiores e encontram similaridade com os valores de anisotropia.

Segundo Junior e Garcia (2004), uma menor razão entre as contrações tangencial e radial (ou seja, próximas de 1) significa que a madeira apresentará baixo índice de empenamento. A contração tangencial (na direção dos anéis de crescimento) é maior que a contração radial (perpendicular aos anéis); e essa diferença de contração, combinada com a curvatura natural dos anéis, pode causar deformações na madeira, como empenamento e rachaduras.

1.8.3. Caracterização química do lenho

A Tabela 1.5 mostra os resultados das propriedades químicas com valores médios, desvio padrão, máximo e mínimo para o tronco, galho e casca.

TABELA 1. 5 - PROPRIEDADES QUÍMICAS DA ESPÉCIE *Citrus sinensis*.

Propriedade Química	Tronco	Galho	Casca	Máximo	Mínimo
Água fria (%)[1]	2,84 a (0,26)	4,20 b (0,33)	14,42 c (0,62)	14,93	2,65
Água quente (%)[2]	5,03 a (0,35)	5,70 a (0,24)	16,14 b (0,55)	16,78	4,73
NaOH (%)[3]	19,36 a (0,25)	20,59 a (0,12)	50,99 b (1,67)	52,09	19,19
Extrativos totais (%)[4]	5,04 a (0,09)	6,05 a (0,10)	17,84 b (0,88)	18,5	4,97
Lignina (%)	18,95 a (1,19)	19,63 a (1,37)	25,70 b (0,12)	25,79	18,05
Cinzas (%)	1,60 b (0,11)	1,17 a (0,03)	8,52 c (0,11)	8,61	1,15

LEGENDA: Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão das amostras. [1] Extrativos solúveis em água fria; [2] Extrativos solúveis em água quente; [3] Extrativos solúveis em hidróxido de sódio; [4] Extrativos totais extraídos em etanol/tolueno.
FONTE: A autora (2025).

Os valores médios obtidos para extrativos solúveis em água fria diferiram estatisticamente entre si, em que a casca (14,42%) apresentou maior valor, enquanto o menor valor foi do tronco (2,84%). Essa diferença é justificada pois na casca existem altas concentrações de taninos, açúcares, gomas e corante (extraídos em água fria) quando comparada ao material lignocelulósico (Oliveira *et al.*, 2005). Os valores para tronco e galho foram inferiores ao relatado por Kesik *et al*. (2017), que obtiveram média de 6,80% para madeira de laranjeira.

Não houve diferença significativa entre o tronco e o galho (5,03% e 5,70%, respectivamente) para a solubilidade de extrativos em água quente, porém ambos diferem estatisticamente da casca, que apresentou média de 16,14%. Assim como ocorre na solubilização dos extrativos em água fria, a extração em água quente também remove gomas, taninos, açúcares e corantes, além do amido (Minini, 2024).

Para extrativos solúveis em hidróxido de sódio (NaOH 1%), os valores para o tronco (19,36%) e o galho (20,59%) não diferem estatisticamente entre si, mas ambos diferem estatisticamente da casca (50,99%), que apresenta um valor muito acima das outras porções. As médias obtidas foram superiores a encontradas por Kesik *et al.* (2017), que relataram média de 14,30% para a madeira da mesma espécie estudada. O uso de hidróxido de sódio é responsável pela extração de terpenos e fenóis, substâncias comumente associadas à durabilidade natural da madeira e proteção contra agentes xilófagos (TAPPI, 1997).

As médias percentuais de extrativos totais encontrados no tronco (5,04%) e galho (6,05%) não diferem entre si, porém diferem da média percentual da casca (17,84%), que é maior que os primeiros. Normalmente as cascas possuem teores de extrativos superiores que suas respectivas madeiras (Browning, 1967; Lamounier, 2010). De acordo com Fengel e Wegener (1989), a quantidade de extrativos e composição depende de diversos fatores, como espécie, idade e região de procedência, contudo, aproximadamente de 3 a 10% da madeira seca é constituída de extrativos. As folhosas possuem teores de extrativos que variam de 2 a 4%, podendo chegar a valores superiores a 10% dependendo da região (Fengel; Wegener, 1989). Além da resistência natural, o teor de extrativos também influencia em outras propriedades da madeira, como permeabilidade, densidade e dureza (Pettersern, 1984).

A madeira de *C. sinensis* apresenta um percentual de extrativos totais inferior ao valor de referência sugerido por Sjöström (1981) e Jankowsky (1988), que estabelecem que valores abaixo de 10% favorecem uma boa interação entre a resina e a madeira. Exceto para o teor de extrativos solúveis em hidróxido de sódio, os demais teores de extrativos analisados neste estudo estão abaixo de 10%, indicando que pode ocorrer interação positiva entre a resina e a madeira,

já que quando esse percentual ultrapassa o limite indicado (acima de 10%), dificuldades maiores na colagem podem surgir.

Em processos de colagem, como na fabricação de painéis, a eficiência pode ser afetada pela presença de extrativos, que são importantes na escolha do tipo de madeira a ser utilizada (Rowell *et al*., 2005; Gonçalves; Lelis, 2012). Os componentes que podem ser extraídos da madeira, como ceras, gorduras, resinas, hidrocarbonetos não-voláteis e carboidratos com baixo peso molecular (Morais *et al*., 2005), têm a capacidade de migrar para a superfície da madeira durante a prensagem. Isso pode prejudicar a adesão, pois esses extrativos formam uma barreira química (Marra, 1992; Hunt *et al*., 2018).

De forma geral, uma quantidade maior de extrativos pode afetar negativamente a polimerização e a cura de adesivos, tintas e vernizes. Além disso, isso pode impactar a cura do cimento em produtos que combinam cimento e madeira, como painéis cimento-madeira, dificultar o processamento mecânico devido à alta presença de resina e ainda trazer complicações durante a deslignificação, o que pode resultar em incrustações nos equipamentos (Trianoski, 2012).

A quantidade média encontrada para lignina (tronco, 18,95%; e galho, 19,63%) foram bem próximas encontradas por Kesik *et al.* (2017), que ao estudarem a madeira de laranjeira e obtiveram um valor médio de 20,82%. Ademais, as médias obtidas estão de acordo com a porcentagem de teor de lignina (18 a 25%) para as folhosas (Carvalho *et al*., 2009; Fengel; Wegener, 1989).

Observou-se uma diferença estatística nos parâmetros analisados em relação ao teor de cinzas. A casca apresentou o maior valor, com 8,52%, enquanto o galho teve o menor valor, com 1,17%. A média do material lenhoso (tronco, 1,60% e galho, 1,17%) foi inferior ao alcançado por Kesik *et al.* (2017), que encontraram um média de 2,42% para a mesma espécie. Essa diferença pode estar relacionada aos fatores de sítio, principalmente às características do solo. Os valores médios do tronco e do galho estão dentro da faixa de 0,1 a 5,4% para os materiais inorgânicos (Tsoumis, 1991). Os minerais, ou também conhecido como teor de cinza, são os materiais inorgânicos que permanecem após a combustão completa da madeira (Júnior, 2011).

Ao comparar os valores médios do tronco apresentados neste estudo, conforme ilustrado na Tabela 1.5, com as informações disponíveis na literatura sobre a espécie de *Pinus* (Tabela 1.6), que é amplamente estudada principalmente pela sua importância comercial, observa-se que a madeira de *C. sinensis* apresenta resultados semelhantes. Entretanto, a espécie estudada demonstra valores superiores em hidróxido de sódio e cinzas, e inferior no teor de lignina. As diferenças de alguns resultados podem estar associadas por uma espécie ser folhosa e a outra ser conífera.

TABELA 1. 6 - COMPARATIVO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA SEGUNDO A LITERATURA.

Espécie	**Autor**	**AF**	**AQ**	**NaOH**	**ET**	**Lignina**	**Cinza**
Pinus elliottii	Foelkel (1976)	1,80	2,90	11,00	4,80	27,20	0,40
Pinus taeda	Klock (2000)	1,80	2,44	8,90	3,03	28,76	0,22
Pinus maximinoi	Klock (2000)	1,84	2,92	9,90	3,72	28,70	0,17
Pinus taeda	Trianoski (2012)	2,02	2,90	9,31	3,34	30,51	0,28
Pinus oocarpa	Trianoski (2012)	3,63	5,14	12,85	7,93	31,21	0,12
Citrus sinensis	Autora (2025)	2,84	5,03	19,36	5,04	18,95	1,60

LEGENDA: AF, água fria; AQ, água quente, NaOH, hidróxido de sódio; e ET, extrativos totais.
FONTE: A autora (2025).

1.9. CONCLUSÃO

As características anatômicas da espécie estudada indicam o potencial de bons resultados no desdobro e processamento, especialmente por causa da grã direita.

As propriedades físicas analisadas indicam que a madeira é de média densidade e elevada contração dimensional, sendo classificada como média instabilidade.

Em relação às propriedades químicas, onde os parâmetros do tronco, casca e galho foram analisados, os altos valores médios conferidos na casca indicam que ela possui mais extrativos que a madeira.

De modo geral, o resíduo da madeira de laranjeira, procedente do fim de vida útil do pomar, apresenta propriedades anatômicas e físicas adequadas para produção de painéis colados lateralmente bem como o compósito cimento-madeira. Em relação às propriedades químicas, especialmente para painel de cimento-madeira que utiliza a casca do tronco e dos galhos, é importante fazer um pré-tratamento para remover os extrativos que estão presentes na casca. Esse processo pode ajudar a melhorar a interação entre o cimento e a madeira.

CAPÍTULO 2

MADEIRA DE *Citrus sinensis* PARA PRODUÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE (EGP)

RESUMO

O Brasil se destaca como o principal produtor de laranjas no mundo, possuindo a maior extensão de área cultivada. Isso resulta em um elevado volume de resíduos lignocelulósicos gerados ao término do ciclo produtivo da laranjeira, que ocorre em torno de 15 a 20 anos. Há pouco estudo sobre a utilização da madeira desta espécie para usos múltiplos, entre eles painéis de madeira. Neste capítulo, foi analisado a qualidade de colagem da madeira de *Citrus sinensis* para a confecção de painel colado lateralmente – EGP, com três tipos de adesivos (PVA – poliacetato de vinila, EPI – emulsão polimérica de isocianato e MUF - melamina-ureia-formaldeído) e duas gramaturas (150 $g.m^{-2}$ e 200 $g.m^{-2}$). Para cumprir com os objetivos propostos, avaliou-se a qualidade da colagem lateral por meio do ensaio de resistência da linha de cola ao cisalhamento após pré-tratamentos, classificando o percentual de falhas nas juntas coladas da madeira. A partir dos resultados deste estudo, verificou-se que as juntas confeccionadas com adesivo MUF no pré-tratamento úmido obtiveram bons resultados. Além disso, gramatura de 200 g/m² proporcionou maiores valores a resistência ao cisalhamento. Conclui-se que *Citrus sinensis* apresenta potencial de uso como matéria-prima na produção de painéis EGP de uso estrutural interno.

Palavras-chave: resíduo lignocelulósico; colagem lateral; poliacetato de vinila; emulsão polimérica de isocianato; melamina-ureia-formaldeído; 5° percentil inferior.

Citrus sinensis WOOD FOR EDGE-GLUED PANEL (EGP) PRODUCTION

ABSTRACT

Brazil is the leading producer of oranges in the world and has the largest cultivated area. This results in a high volume of lignocellulosic waste at the end of the orange tree's production cycle -- typically around 15 to 20 years. Little is known about the quality of orange wood. This chapter analyzed the technological feasibility of *Citrus sinensis* wood for making edge-glued panels - EGP, using three types of adhesive (PVA - polyvinyl acetate, EPI - polymeric isocyanate emulsion and MUF - melamine-urea-formaldehyde) and two gradings (150 g.m-2 and 200 g.m-2). In order to meet the proposed objectives, the quality of the edge gluing was assessed by testing the shear strength of the glue line after pre-treatment, classifing the percentage of failures in glued wood joints. The joints had good results for all the studied adhesives when used in dry conditions. However, no adhesive reached the minimum level of 40% wood failure required by the EN 13353 standard. As a conclusion, *Citrus sinensis* has potential for use as a raw material in the production of EGP panels for internal structural use, since all the adhesives met the lower 5th percentile prerequisite.

Keywords: lignocellulosic waste; lateral bonding; polyvinyl acetate; isocyanate polymer emulsion; melamine-urea-formaldehyde; lower 5th percentile.

2.1. INTRODUÇÃO

A laranja é a fruta mais cultivada no mundo, tendo sido produzida 47,2 milhões de toneladas na safra 2020/2021, de acordo com o United States Department of Agriculture (USDA, 2020), o que demonstra uma estabilidade na demanda mundial pela fruta *in natura*, com crescimento de 0,3%. O Brasil lidera a produção global de citros e também é o maior produtor de laranja e suco dessa fruta, detendo mais de 70% do mercado global de suco de frutas (Vidal, 2022).

Uma estimativa teórica sobre os resíduos lignocelulósicos gerados por cultivos de frutas na União Europeia indica cerca de 2 e 25 milhões de toneladas anuais, provenientes, respectivamente, da remoção e poda de plantações. Normalmente, os resíduos são queimados no campo ou reincorporados ao solo, o que não causa nenhum efeito econômico imediato (Aliaño-González *et al*., 2022). Além disso, o uso de resíduos de madeira contribui para a evolução em direção a um desenvolvimento mais sustentável e uma economia circular.

O uso da madeira tem crescido bastante nas construções civis e na fabricação de móveis, o que faz com que a busca por produtos de melhor qualidade aumente cada vez mais (Albino *et al*., 2012). Uma alternativa para atender a essa demanda e reduzir a pressão sobre as florestas nativas são os resíduos gerados pela agroindústria. Em especial, os resíduos provenientes do cultivo de árvores frutíferas estão sendo cada vez mais estudados para que possam ser utilizados de forma industrial (Lau, 2016; Braga, 2022; Aliaño-González *et al*., 2022).

Simultaneamente aos desafios relacionados à produção de resíduos da agroindústria, há o desenvolvimento de inovações tecnológicas que valorizam e agregam valores aos subprodutos. Dentre essas inovações, se destacam os Produtos de Maior Valor Agregado (PMVA), que incluem itens como molduras, portas, janelas, pisos, componentes para móveis e os *Edge Glued Panel* (EGP), frequentemente referido como painel colado lateralmente (ABIMCI, 2009; Iwakiri; Trianoski, 2020).

O painel *Edge Glued Panel*, ou painel colado lateralmente, é feito a partir de sarrafos de madeira serrada que são colados pelas laterais. Esses sarrafos podem ser colados ou não no topo, utilizando emendas do tipo "*finger joint*" (Iwakiri; Trianoski, 2020). As principais vantagens deste painel, que o tornam

uma opção promissora para aproveitar resíduo agroindustrial, incluem a reutilização de peças pequenas e estreitas de madeira sólida, o que proporciona ao produto um aspecto bonito e decorativo. Além disso, os custos dos maquinários são baixos e o processo de produção é mais simples em comparação com outras indústrias de painéis de madeira, como MDF, MDP e OSB (Keffer, 2024).

Existem alguns fatores que podem ajudar a melhorar a qualidade e também a diminuir os custos na produção dos painéis EGP. Os dois principais parâmetros que podem ser ajustados são o tipo de adesivo e a gramatura, ou seja, a quantidade de material por metro quadrado (Mölleken, 2017). Entre os adesivos usados nesse processo, estão o poliacetato de vinila (PVAc), a emulsão polimérica de isocianato (EPI), o poliuretano (PUR) e a melamina uréia formaldeído (MUF). De acordo com Wengert (2002), a gramatura recomendada é de 180 a 200 g/m².

Os adesivos usados nos processos de colagem têm várias vantagens em comparação aos naturais, como maior rigidez, durabilidade e resistência à água. Por isso, ao escolher um adesivo, é importante considerar o uso final do produto e o ambiente em que ele será exposto, já que há muitas opções disponíveis (Vick, 1999; Braga, 2022).

A gramatura do adesivo é fator muito importante, refere-se à quantidade de adesivo utilizado na formação da linha de cola entre duas peças de madeira (Selbo, 1975; Marra, 1992; Iwakiri *et al*., 2013; Iwakiri *et al.*, 2021). Se a quantidade não for adequada, pode afetar a resistência do painel. Por isso, é importante escolher a gramatura certa e assim garantir uma colagem de qualidade e um produto final melhor (Iwakiri *et al*., 2013).

De maneira geral, o tipo de adesivo e a quantidade utilizada na fabricação dos painéis colados lateralmente podem influenciar na qualidade da união e também no custo do processo (Fonte; Trianoski, 2015; Iwakiri *et al*., 2015; Campelo *et al*., 2017).

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivo geral

Avaliar o potencial de utilização da madeira da espécie *Citrus sinensis* para produção de painéis colados lateralmente (*Edge glued panels* – EGP).

2.2.2. Objetivos específicos

I) Avaliar o efeito de diferentes adesivos sobre a qualidade de colagem de lateral.

II) Avaliar o efeito da gramatura sobre a qualidade de colagem lateral.

2.3. MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1. Obtenção do material

Neste capítulo, conforme mencionado no capítulo 1, nos subitens 1.3.1 e 1.3.2, utilizou-se apenas os troncos (Figura 2.1). As sobras desse material, após a confecção dos sarrafos, foram destinadas à produção de painel cimento-madeira (capítulo 3).

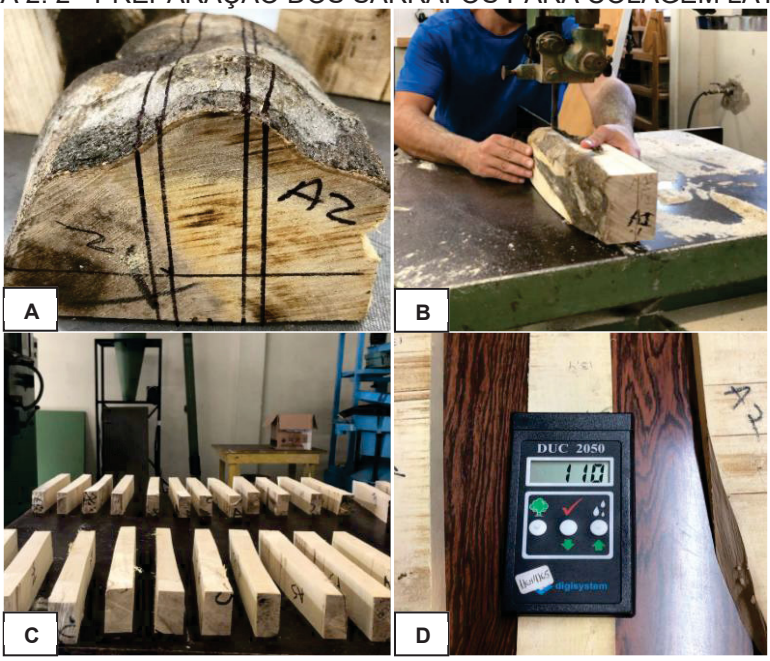
FIGURA 2. 1 - TRONCOS DE *Citrus sinensis*.

FONTE: A autora (2025).

Os troncos (toretes) utilizados para a produção dos sarrafos tinham diâmetro médio que variaram entre 15 cm a 20 cm e comprimento de 49 cm a 67 cm. O material do referido estudo foi encaminhado para o Laboratório de Usinagem da Universidade Federal do Paraná, onde foram desdobrados e acondicionados por alguns dias para a redução do teor de umidade.

Posteriormente, passaram por um corte com serra fita e em seguida, foram nivelados em uma plaina. As dimensões foram ajustadas devido à tortuosidade do material, resultando em medidas aproximadas de 310 x 50,5 x 20,4 mm para comprimento, largura e espessura – respectivamente (Figura 2.2).

FIGURA 2. 2 - PREPARAÇÃO DOS SARRAFOS PARA COLAGEM LATERAL.



FONTE: A autora (2025).

Foram obtidos do tronco 60 sarrafos totalizando 30 pares. O procedimento de pareamento dos sarrafos deu-se de forma aleatória, tendo como objetivo realizar uma pré-montagem das colagens dos sarrafos.

2.3.3. Colagem dos sarrafos

O planejamento experimental para a colagem lateral dos sarrafos está detalhado na Tabela 2.1.

TABELA 2. 1 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA A COLAGEM LATERAL.

ADESIVO	**GRAMATURA ($g.m^{-2}$)**
Poliacetato de Vinila (PVA)	150
	200
Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI)	150
	200
Melamina-Ureia-Formaldeído (MUF)	150
	200

FONTE: A autora (2025).

A aplicação dos adesivos procedeu com o auxílio de pincel e às vezes, com rolo de espuma para melhor distribuição, de forma manual controlando sua distribuição ao longo da peça sobre uma das faces do sarrafo da qual eram

colados em pares. A prensagem ocorreu em prensa a frio com pressão específica de 1 MPa por 1 hora (Figura 2.3).

FIGURA 2. 3 - PRENSAGEM PARA A COLAGEM DOS SARRAFOS.

FONTE: A autora (2025).

Após a prensagem, as juntas foram acondicionadas no laboratório, onde ficaram em ambiente com umidade e temperatura controladas por um termo higrômetro durante 10 dias. Para assegurar a cura do adesivo e estabilização das peças coladas (Figura 2.4).

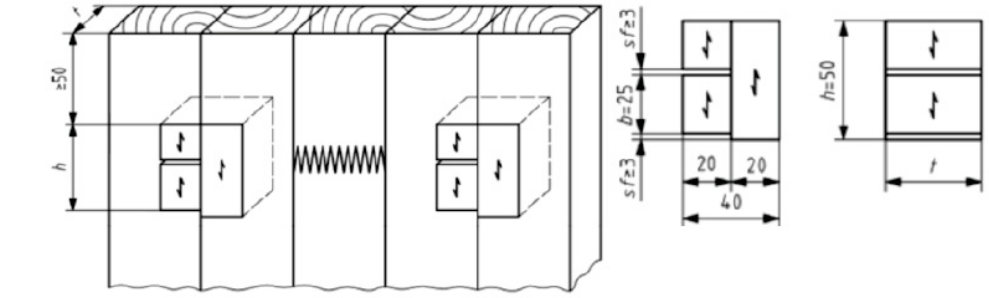
FIGURA 2. 4 – ACONDICIONAMENTO DAS JUNTAS COLADAS

FONTE: A autora (2025).

2.3.4. Ensaio de cisalhamento das juntas coladas

As juntas coladas foram seccionadas após o período de cura e estabilização, sendo obtidos trinta corpos de prova por tratamento (úmido e fervura), para a confecção das amostras segundo as especificações da norma EN 13354 (2003), de acordo com a Figura 2.5.

FIGURA 2. 5 - DESENHO ESQUEMÁTICO DA CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS PARA O ENSAIO DE CISALHAMENTO DA COLAGEM LATERAL.

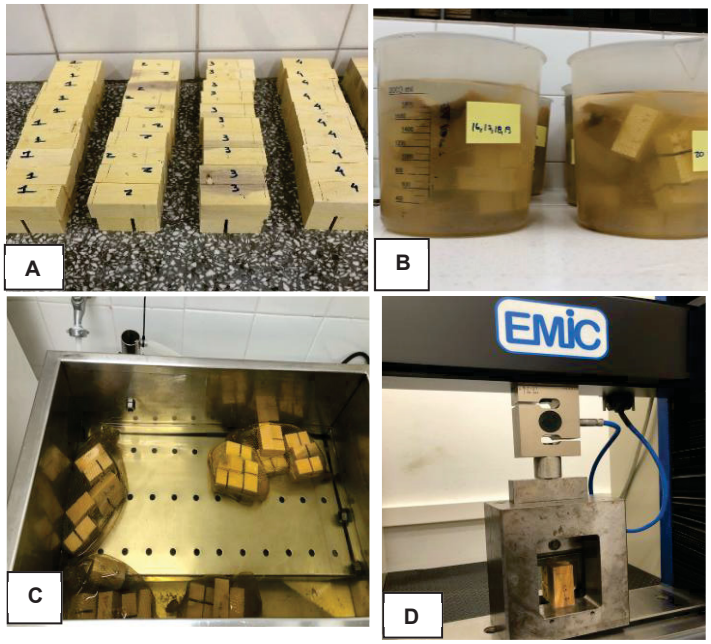


t espessura do painel; ***b*** largura de cisalhamento: 25mm;
h altura do corpo de prova: 50mm; ***sf*** largura da serra (≥3mm).

FONTE: EN 13354 (2003).

Antes de realizar o ensaio de resistência ao cisalhamento da linha de cola, as amostras passaram por alguns tratamentos, seguindo a norma EN 13354 (2003). Esses tratamentos incluíram: 24 horas imersas em água em temperatura ambiente; fervura, que consistiu em 6 horas em banho-maria a 100°C e 1 hora submersa em água à temperatura ambiente para resfriamento; e, por último, realizou-se o ensaio nas amostras em condição seca, que serviu como controle. O ensaio de cisalhamento foi realizado em uma máquina universal de ensaio – EMIC, com capacidade de 20 kN (Figura 2.6).

FIGURA 2. 6 - PRÉ-TRATAMENTOS E ENSAIO DE CISALHAMENTO.



LEGENDA: A – Corpo de prova segundo a norma EN 13354; B – imersão em água fria; C – fervura das amostras; D – ensaio de cisalhamento.
FONTE: A autora (2025).

Finalizado o ensaio de cisalhamento as porcentagens de falhas da madeira na superfície de ruptura da linha de cola foram analisadas visualmente de acordo com a norma EN 314-1 (2004), e foi calculado o 5° percentil inferior conforme a norma EN 326-1 (1994). De acordo com a norma EN 13353 (2008), o valor do percentil precisa ser igual ou superior a 2,5 MPa, caso não seja atendido, é necessário que a média da porcentagem de falha na madeira de cada painel seja maior que 40% (a menos que a densidade da madeira seja superior a 0,60 $g.cm^{-3}$).

2.3.5. Delineamento estatístico

Os dados foram organizados no *Microsoft Office Excel*, e a análise estatística foi feita com *software Statgraphics Centurion* XIX. Primeiro, foram identificados os *outliers* utilizando o teste de Grubb's. Em seguida, aplicou-se o teste de Bartlett para verificar se as variâncias eram homogêneas. Com a homogeneidade das variâncias confirmada, foi possível realizar a Análise de Variância (ANOVA) com um arranjo fatorial de 3x2, que envolveu 3 tipos adesivos e 2 gramaturas. Quando identificada diferença estatística, foi realizada a comparação de médias por meio do teste de Tukey.

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1. Resistência das juntas coladas

A Tabela 2.2 mostra as médias gerais da resistência da linha de cola ao cisalhamento para os três tipos de adesivos (PVA, EPI e MUF) e para as duas gramaturas (150 e 200 g/m²). Ela também apresenta os resultados considerando em condição de ensaio (seco) e os dois pré-tratamentos (úmido e fervura).

TABELA 2. 2 - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (RC) NA COLAGEM LATERAL.

Citrus sinensis		**Pré-Tratamentos**								
		Seco			**Úmido**			**Fervura**		
Adesivo	**Gramatura (g/m²)**	**RC (N/mm²)**	**5° PI**	**FM (%)**	**RC (N/mm²)**	**5° PI**	**FM (%)**	**RC (N/mm²)**	**5° PI**	**FM (%)**
PVA	150	9,71 b (15,47)	8,00	3	0,65 c (73,99)	0,33	0	–	–	–
	200	15,03 a (5,50)	14,04	16	1,07 c (53,17)	0,59	0	–	–	–
EPI	150	15,19 a (9,26)	12,96	20	2,91 b (38,45)	1,58	0	1,22 c (57,31)	0,63	0
	200	14,89 a (5,07)	13,93	9	2,54 b (16,48)	1,25	0	1,45 bc (89,28)	0,35	0
MUF	150	10,84 b (18,88)	8,68	5	5,68 a (49,11)	2,34	0	2,87 ab (60,74)	1,21	0
	200	15,34 a (14,60)	11,75	22	8,31 a (16,48)	6,22	0	3,15 a (40,29)	1,46	0

LEGENDA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação das amostras. RC – resistência ao cisalhamento; FM – falha da madeira; e PI – percentil inferior
FONTE: A autora (2025).

Houve diferença estatística nos resultados entre os adesivos e gramaturas avaliadas nas três condições. Os valores mais altos foram, principalmente, com o adesivo MUF, todos na gramatura de 200 g/m² (15,34 N/mm², 8,31 N/mm² e 3,15 N/mm²), tanto na condição de ensaio (seco) quanto nos dois pré-tratamentos (úmido e fervura).

A norma EN 13353 (EN, 2003) estabelece que o valor mínimo do 5° percentil inferior das médias dos painéis deve ser igual ou superior a 2,5 N/mm² ou 2,5 MPa, e que a falha da madeira deve ser superior a 40%, para a qualidade de colagem ser considerada adequada.

Na condição seca todos os adesivos atenderam ao requisito mínimo do 5° percentil inferior e nas duas gramaturas estudadas. Sendo que os maiores valores para RC foram obtidos nos adesivos MUF (15,34 N/mm²) e EPI (15,19 N/mm²) e nas gramaturas 200 g/m² e 150 g/m², respectivamente. Quanto à falha da madeira, nenhum adesivo atendeu ao requisito mínimo.

No pré-tratamento úmido, o adesivo MUF foi o único que atendeu ao critério do 5° percentil inferior na gramatura de 200 g/m², com um valor de 6,22, valor acima do indicado pela norma. Além disso, apresentou também a maior resistência ao cisalhamento, com 8,31 N/mm². No entanto, não obteve falha na madeira.

Para a condição fervura, os dois adesivos (EPI e MUF) e suas respectivas gramaturas (150 g/m² e 200 g/m²) avaliadas não atenderam ao requisito mínimo do 5° percentil inferior e não obtiveram falha na madeira.

Nenhum dos adesivos conseguiu atender ao critério de falha mínima de 40% da madeira, de acordo com a norma EN 13353 (EN, 2003). Diante do exposto e com base apenas no 5° percentil inferior, os resultados de RC, principalmente na condição seca, para a madeira de *C. sinensis*, são satisfatórios para os três adesivos e as duas gramaturas utilizadas neste estudo.

2.4.2. Efeito do adesivo

A performance dos adesivos (PVA, EPI e MUF) após os pré-tratamentos (seco, úmido e fervura) estão na Tabela 2.3.

TABELA 2. 3 - EFEITO DO TIPO DE ADEVISO SOBRE A QUALIDADE DA COLAGEM LATERAL.

Citrus sinensis	**Pré-Tratamentos**								
	Seco			**Úmido**			**Fervura**		
Adesivo	**RC (N/mm²)**	**5° PI**	**FM (%)**	**RC (N/mm²)**	**5° PI**	**FM (%)**	**RC (N/mm²)**	**5° PI**	**FM (%)**
PVA	12,51 b (23,69)	8,08	9	0,86 c (64,13)	0,37	0	_-	-	-_
EPI	15,03 a (7,24)	13,68	14	2,70 b (48,86)	1,12	0	1,34 b (72,27)	0,37	0
MUF	13,49 ab (22,98)	8,87	15	7,32 a (31,89)	2,60	0	3,02 a (48,64)	1,14	0

LEGENDA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação das amostras.
FONTE: A autora (2025).

Os resultados dos ensaios de cisalhamento das juntas coladas em condição de ensaio (seco) demonstram que os adesivos PVA e EPI apresentam diferenças estatisticamente significativas, com médias de 12,51 N/mm² e 15,03 N/mm², respectivamente, enquanto o adesivo MUF foi equivalente aos dois adesivos (PVA e EPI), e teve média de 13,49 N/mm². Os três adesivos empregados nesta condição de ensaio cumpriram o critério mínimo do 5° percentil inferior, que determina o valor mínimo de 2,5 N/mm² de acordo com a norma EN 13353 (EN, 2008). No entanto, nenhum adesivo atingiu a exigência de 40% de falha da madeira.

Houve diferença estatística nos três adesivos após pré-tratamento úmido, onde o maior valor foi obtido pelo adesivo MUF (7,32 N/mm²) e o menor valor foi encontrado para o PVA (0,86 N/mm²). Dentre os três adesivos testados neste pré-tratamento o adesivo MUF foi o único que atendeu o requisito do 5º percentil inferior, valor mínimo de 2,5 N/mm², segundo a norma EN 13353 (EN, 2008). Quanto à falha na madeira, os três adesivos estudados não obtiveram resultaram satisfatório pois não alcançaram o requisito mínimo de 40% de acordo com a norma EN 13353 (EN, 2008).

Na condição de fervura, os adesivos EPI e MUF apresentaram diferenças significativas, em que o valor mais alto (3,02 N/mm²) foi da melamina-ureia-formaldeído, enquanto a emulsão polimérica de isocianato apresentou a média mais baixa (1,34 N/mm²). Neste pré-tratamento, os adesivos analisados não atingiram nem o valor mínimo do 5° percentil inferior e nem o valor mínimo de 40% para falha na madeira como determina a norma EN 13353 (2008).

Apenas com base apenas no 5° percentil inferior, os resultados de resistência ao cisalhamento na condição de seca para a espécie de *Citrus sinensis* também podem ser considerados satisfatórios para os três adesivos utilizados neste estudo.

Os resultados deste estudo foram superiores aos relatados por Almeida (2013), que realizou análise da confecção de painéis EGP de seis espécies de madeira tropical (*Pterogyne nitens* – Amendoim-bravo, *Patagonula* sp - Guajuira., *Tabebuia* spp. - Ipê, *Hymenaea* spp - Jatobá., *Astronium lecointei* - Muiricatiara e *Couratari* spp. - Tauari), utilizando os adesivos PVAc D3 e EPI. No referido estudo, as médias de todas as espécies encontradas para pré-

tratamento a seco variaram de 0,50 à 4,26 N/mm² para o adesivo PVAc e de 0,37 à 8,42 N/mm² para o adesivo EPI.

Por sua vez, Gava (2014), que analisou a madeira tratada de Eucalipto (*Eucalyptus cloeziana*) para produção de painéis EGP com os adesivos PVA e MUF e gramatura de 150 g/m², de acordo com a norma ASTM D905-08; obteve média superior ao encontrado no presente estudo para o adesivo PVA (13,10 N/mm²) e inferior para o adesivo MUF (11,65 N/mm²) considerando pré-tratamento a seco.

Iwakiri *et al*. (2015) estudaram duas espécies, Ingá-vermelha - *Inga alba* (Sw.) Willd, e Muira Jibóia - *Swartzia recurva* Poepp, para juntas coladas com dois tipos de adesivos (PVA e EPI), na gramatura de 200 g/m². Os resultados obtidos pelos referidos autores, para os ensaios em condição seca e úmida, foram de 12,07 N/mm² e 2,72 N/mm² para o adesivo PVA, e para o EPI obteve-se 14,11 N/mm² e 8,00 N/mm². Em comparação com o presente estudo, o PVA, em condições secas, apresentou resultado inferior e, em condições úmidas, superior; enquanto o EPI foi inferior tanto para condições secas como úmidas.

Lau (2016) estudou os resultados médios do efeito do adesivo sobre a resistência ao cisalhamento das juntas coladas em duas espécies (*Populus deltoides* – algodão-americano e *Pinus taeda* – pinus), com quatro tipos de adesivos (PVA D3, PVA D4, EPI e MUF) e em três condições (seco, água fria e fervura). As médias encontradas pela autora, para o primeiro pré-tratamento (seco), foram bastante inferiores ao relatados no presente estudo para os adesivos PVA D3 (7,31 N/mm²), PVA D4 (5,88 N/mm²), EPI (6,07 N/mm²), e MUF (7,30 N/mm²). Ainda tratando-se do estudo de Lau (2016), considerando a condição água fria, os adesivos PVA (0,84 N/mm² e 0,96 N/mm², para D3 e D4, respectivamente) estavam equiparados aos valores do presente estudo, enquanto foi inferior ao EPI (3,41 N/mm²) e superior ao MUF (4,49 N/mm²). Para o tratamento com fervura, Lau (2016) obteve valores superiores para EPI (2,58 N/mm²) e MUF (3,74 N/mm²) quando comparados com o presente estudo.

Keffer (2024), ao estudar quatro madeiras tropicais (*Cedrela odorata* L. – cedro rosa; *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. – orelha-de-macaco; *Erisma uncinatum* Warm – cedrinho; e *Qualea paraenses* Ducke - cambará), encontrou, respectivamente, os valores para os adesivos PVA (8,37 N/mm² - 8,44 N/mm² - 6,95 N/mm² - 9,90 N/mm²) e EPI (7,52 N/mm² - 8,37 N/mm² - 13,24

N/mm² - 8,50 - 13,36 N/mm²) em pré-tratamento seco, sendo todos inferiores aos encontrados nesta pesquisa. Por sua vez, os resultados relatados por Keffer (2024) foram superiores para o tratamento úmido tanto para o adesivo PVA (3,69 N/mm² - 2,10 N/mm² - 1,30 N/mm² - 1,25 N/mm²) como EPI (5,59 N/mm² - 7,18 N/mm² - 4,66 N/mm² - 4,30 N/mm²) quando comparados com os resultados deste estudo para os mesmos parâmetros.

A madeira do gênero Pinus possui grande relevância comercial mundial, sendo amplamente empregada em diversos setores, inclusive na produção de painéis. Prata (2010) analisou seis espécies de *Pinus* (*P. taeda*, *P. tecunumanni*, *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, *P. caribaea hondurensis* e *P. chiapensis*), utilizando adesivo PVAc (polivinil acetato) em duas gramaturas diferentes (160 g/m² e 200 g/m²), sob condições úmidas; e obteve médias de resistência ao cisalhamento para essas espécies que variaram de 2,28 N/mm² a 2,88 N/mm². Os dados apresentados pelo autor mostraram valores superiores ao serem comparados com a espécie de *C. sinensis* utilizando adesivo PVA (0,86 N/mm²), equivalente ao adesivo EPI (2,70 N/mm²) e inferior no adesivo MUF (7,32 N/mm²). Portanto, a madeira de *Citrus sinensis* pode apresentar comportamento comparável e até mesmo superior a uma espécie tradicionalmente aceita e estabelecida no mercado, considerando-se as devidas circunstâncias.

2.4.3. Efeito da gramatura

Nota-se que houve diferença estatística do adesivo EPI para os adesivos PVA e MUF, sendo esses últimos semelhantes na gramatura de 150 g/m² na condição de ensaio (seco). Ainda nessa condição, o adesivo EPI também obteve o maior valor de RC (15,19 N/mm²). As duas gramaturas, dos três adesivos estudados, alcançaram o valor mínimo do 5° percentil inferior, como é explanado na Tabela 2.4.

TABELA 2. 4 - EFEITO DA GRAMATURA SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.

Adesivo	Gramatura (g/m²)					
	150			200		
	RC (N/mm²)	5° PI	FM (%)	RC (N/mm²)	5° PI	FM (%)
Seco						
PVA	9,71 b (15,47)	8,00	3	15,03 a (5,49)	14,04	16
EPI	15,19 a (9,26)	12,96	20	14,89 a (5,07)	13,93	9
MUF	10,84 b (18,88)	8,68	5	15,34 a (15,34)	11,75	22
Úmido						
PVA	0,65 a (73,99)	0,33	0	1,07 a (53,17)	0,59	0
EPI	2,91 a (38,45)	1,58	0	2,54 a (16,48)	1,25	0
MUF	5,68 a (49,11)	2,34	0	8,31 a (16,48)	6,22	0
Fervura						
PVA	–	–	–	–	–	–
EPI	1,22 a (57,31)	0,63	0	1,45 a (1,45)	0,35	0
MUF	2,87 a (60,74)	1,21	0	3,15 a (40,29)	1,46	0

LEGENDA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação das amostras. RC – resistência ao cisalhamento; PI – percentil inferior; e FM – falha da madeira.
FONTE: A autora (2025).

Ainda de acordo com a Tabela (2.4), a gramatura de 200 g/m² do adesivo MUF, no pré-tratamento úmido, foi a única que atendeu ao valor mínimo do 5° percentil inferior e também obteve o maior valor de resistência ao cisalhamento (8,31 N/mm²). Para condição fervura nenhuma gramatura alcançou o valor mínimo do 5° percentil inferior estabelecido pela norma EN 13353 (EN, 2003).

Prata (2010), avaliando gramaturas 160 g/m² e 200 g/m² com adesivo PVAc em 6 espécies de *Pinus* para confecção de painéis colados lateralmente, obteve como resultados médios de resistência que variaram de 2,28 N/mm² a 2,88 N/mm². Iwakiri (2007), analisou gramaturas de 170 g/m², 190 g/m² e 210 g/m² para as espécies de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*, com adesivo PVAc,

para produção de EGP, encontrou valores médios que variaram de 4,7 N/mm² a 8,8 N/mm².

Nenhuma gramatura nos três adesivos estudados satisfez o requisito da falha na madeira. Em geral, o aumento da gramatura resultou em maiores valores na resistência ao cisalhamento da linha cola, com exceção do adesivo EPI no pré-tratamento seco, que apresentou o melhor desempenho na gramatura de 150 g/m².

3.4.4. Correlação de Pearson

A Tabela 2.5 apresenta os valores das correlações obtidas pelo teste de Pearson entre as características anatômicas e o teor de extrativos totais da madeira de laranjeira, e a qualidade das juntas coladas (resistência ao cisalhamento na linha de cola e a porcentagem de falha na madeira).

TABELA 2. 5 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E PORCENTAGEM DE FALHA NA MADEIRA.

Características da madeira	**Resistência ao cisalhamento**	**Porcentagem de falha na madeira**
Altura de raio	-0,0742	0,0635
Largura de raio	-0,0057	0,0180
Frequência de raio	0,1640	0,2460
Frequência de poros	-0,0221	0,0383
Diâmetro de poros	0,0279	-0,2270
Extrativos totais	0,1300	-0,6780

FONTE: A autora (2025).

Não foi possível determinar correlação significativa entre a qualidade das juntas coladas, anatomia da madeira e dos extrativos totais. A falta de correção pode indicar que essas características não influenciem diretamente na colagem da madeira para a espécie estudada e sim outros fatores mais específicos, como a composição química.

2.5. CONCLUSÃO

I) Sobre a qualidade das juntas coladas

As juntas confeccionadas com madeira de *Citrus sinensis* apresentaram resultados satisfatórios em todos os adesivos na condição de ensaio (seco), uma vez que atenderam aos requisitos mínimos para o 5° percentil inferior, conforme a norma EN 13353.

II) Sobre o efeito do adesivo

O adesivo MUF apresentou resultados melhores de resistência ao cisalhamento em comparação aos adesivos PVA e EPI.

III) Sobre o efeito da gramatura

Os resultados foram satisfatórios para as duas gramaturas estudadas na condição de ensaio (seco), sobressaindo o adesivo EPI na gramatura 150 g/m² e MUF na gramatura 200 g/m²; e o aumento da gramatura influenciou em maiores valores de resistência ao cisalhamento.

Com base apenas no 5° percentil inferior, o adesivo melamina ureia formaldeído apresentou o melhor desempenho em resistência ao cisalhamento após pré-tratamento úmido para a espécie da madeira de laranjeira. Além disso, a gramatura utilizada contribuiu para aumentar os valores de resistência, de acordo com os resultados do estudo.

CAPÍTULO 3

MADEIRA DE *Citrus sinensis* PARA PRODUÇÃO DE PAINEL CIMENTO-MADEIRA

RESUMO

Este capítulo aborda a utilização do resíduo lignocelulósico da laranjeira (*Citrus sinensis*) após seu fim de ciclo útil, focando na produção de painéis cimento-madeira. A pesquisa analisa a viabilidade técnica da espécie, o efeito da adição da microssílica e o efeito do pré-tratamento das partículas, com o objetivo de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Além disso, busca estabelecer correlação entre as propriedades examinadas. Foram produzidos painéis com densidade nominal de 1,20 g/cm³, utilizando como aglutinante mineral cimento Portland comum, partículas de madeira sem e com tratamento (água fria, água quente e hidróxido de sódio – NaOH) e sem e com adição do aditivo mineral. Os resultados indicaram que os pré-tratamentos nas partículas, principalmente água fria e água quente melhoraram significativamente as características dos painéis. Em relação as propriedades físicas, a massa específica apresentou resultados que variaram entre 1,11 g/cm³ a 1,25 g/cm³. Quanto à absorção de água, após 2 e 24 horas, os valores ficaram entre 12,67% a 18,28% e 17,87% a 23,75%, respectivamente. Para o inchamento em espessura, os resultados para 2 e 24 horas variaram de 0,95% a 2,51% e de 1,20% a 2,88%, respectivamente. Esses resultados são satisfatórios e estão em conformidade com os padrões comerciais do processo Bison e com a literatura existente. No que diz respeito às propriedades mecânicas, a única que atendeu aos valores de referência do processo Bison foi a ligação interna, que variou entre 0,50 MPa a 0,97 MPa. Não houve efeito significativo da adição da microssílica. Considerando as análises comparativas entre os resultados obtidos para a espécie em estudo e as informações disponíveis na literatura, é possível afirmar que a madeira de laranjeira apresenta potencial promissor para a fabricação de painéis cimento-madeira.

Palavras-chave: resíduo de laranjeira; reaproveitamento; compósito; microssílica; construção civil.

Citrus sinensis WOOD FOR THE PRODUCTION OF CEMENT-WOOD PANELS

ABSTRACT

This chapter discusses the use of lignocellulosic waste from the orange tree (*Citrus sinensis*) after the end of its production cycle, focusing on the production of wood-cement panels. The research analyzes the technical feasibility of the species, the effect of adding microsilica and the effect of pre-treating the particles in order to improve the physical and mechanical properties of the panels. It also seeks to establish a correlation between the properties examined. Panels with a nominal density of 1.20 g/cm³ were produced, using common Portland cement as the mineral binder, wood particles without and with treatment (cold water, hot water and sodium hydroxide - NaOH) as well as without and with the addition of the mineral additive. The results indicated that pre-treatment of the particles, mainly cold water and hot water, significantly improved the panels' characteristics. Regarding the physical properties, the specific mass ranged from 1.11 g/cm³ to 1.25 g/cm³. As for water absorption, after 2 and 24 hours, the values ranged from 12.67% to 18.28% and 17.87% to 23.75%, respectively. For thickness swelling, the results for 2 and 24 hours ranged from 0.95% to 2.51% and from 1.20% to 2.88%, respectively. These results are satisfactory and are consistent with the commercial standards of the Bison process and with published literature. In terms of mechanical properties, the only one that met the Bison process reference values was the internal bond, which ranged from 0.50 MPa to 0.97 MPa. There was no significant effect from the microsilica addition. After comparing the results obtained for the species under study with the information available in the literature, orange wood has a promising potential for the manufacture of wood-cement panels.

Keywords: orange tree waste; reuse; composite; microsilica; construction.

3.1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos são definidos pela junção de um material base (matriz) com outros materiais (fases) com intuito principal de criar um produto final com propriedades aprimoradas ou que seja mais adequado para o seu propósito (Zucco, 1999). Dessa forma, estão sendo realizados diversos estudos para encontrar novas fontes de matérias-primas, e uma das alternativas que vem ganhando destaque é o aproveitamento de resíduos agroindustriais, para aumentar a possibilidade de criação de novos materiais (Ruthes *et al*., 2022).

O intuito é que esses materiais lignocelulósicos alternativos desempenhem um papel importante no futuro da indústria florestal, devido ao seu volume elevado e à sua ampla disponibilidade (Guler *et al*., 2007). Vários resíduos agroindustriais têm sido estudados para a produção de painéis cimento-madeira, tais como: bagaço de cana-de-açúcar (Mendes *et al*., 2010), fibra de coco (Ferraz *et al*., 2011; Fiorelli *et al*., 2012; Cravo *et al*., 2015), fibra de curauá (Bilcati, 2015), dentre outros. Visando uma maior diversificação de matéria-prima, é de suma importância a ampliação de estudos nesta área para entender também as características finais do compósito.

Os resíduos vegetais, como os provenientes do tronco e do galho da espécie de *Citrus sinensis*, apresentam um grande volume, com 575.437 hectares de pomares registrados no Brasil (IBGE, 2023), e sem utilização no fim do ciclo de vida útil. Os estudos sobre *C. sinensis* são majoritariamente focados na fruta, suco, casca, semente e folhas (Giudice, 2022), porém, raramente nas propriedades de sua madeira (Bruno *et al*., 2020). O uso desse material para a produção de painéis pode ser uma alternativa viável para indústria de painéis, gerando desta forma várias soluções como aproveitamento dos resíduos e desenvolvimento de novos produtos.

Neste âmbito, estão os compósitos de cimento-madeira obtidos através da confecção da mistura de partículas ou fibras de madeira com cimento, aglutinante mineral e água, além de aditivos químicos e aditivos minerais, dentro outros (Mendes *et al*., 2011). De acordo com Iwakiri e Prata (2008), o cimento confere endurecimento ao painel, devido às reações exotérmicas que ocorrem quando o cimento interage com a água.

Dentre as vantagens da mistura de partículas de madeira com cimento está a destinação de resíduos agroindustriais (Ruthes *et al*., 2022), reduzindo problemas relacionados à gestão de resíduos sólidos e agregando maior valor agregado. O painel cimento-madeira tem como benefício boa trabalhabilidade, resistência à umidade e agentes xilófagos, isolamento térmico-acústico, alta durabilidade, são classificados como materiais não combustíveis; e livres de formaldeído (Lopes, 2004). Porém, suas principais desvantagens são: ser um painel pesado; velocidade de cura e principalmente a incompatibilidade do cimento com alguns matérias lignocelulósicos (Júnior *et al*., 2000; Santos *et al*., 2008).

Muitos estudos indicam maneiras de minimizar o retardamento da cura dos compósitos, como tratamento de partículas ou fibras. Esses tratamentos são: imersão em água fria por 24 horas; em água quente por 6 horas e em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% por 2 horas (Moslemi *et al*., 1983; Júnior *et al*., 2000; Sá *et al*., 2012). Outra maneira é a utilização de aditivos químicos que aceleram a hidratação como o cloreto de cálcio (Na *et al*., 2014; Castro *et al*., 2015; Lima *et al*., 2015; Cabral *et al*., 2015).

A microssílica se destaca como um dos mais promissores os aditivos minerais para aplicação em painéis minerais (Lange *et al*., 1989). Silva *et al*. (2006) afirmam que substituir o cimento Portland por diferentes quantidades de sílica pode melhorar as propriedades de resistência de painéis produzidos a partir de espécies de baixa compatibilidade com o aglomerante, desde que a proporção para substituir o cimento na composição esteja alinhada com a aptidão da espécie.

O uso do aditivo mineral torna o compósito mais resistente à água, especialmente ao entrar em contato com o hidróxido de cálcio (liberado durante a hidratação do cimento), resultando em uma diminuição significativa do tamanho dos poros (Silva *et al*., 2006). Simultaneamente, o cimento e o aditivo mineral combinam-se de maneira tal que tornam-se praticamente indistintos entre si, bloqueando a circulação de fluidos, melhorando significativamente a qualidade de cristalização do cimento, tornando-o muito mais resistente à compressão e à tração (Latorraca, 2000).

3.2. OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica do resíduo de lenho de laranjeira (*Citrus sinensis*) para produção de painéis cimento-madeira.

3.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

I) Avaliar o efeito do pré-tratamento de partículas sobre propriedades dos painéis;

II) Avaliar o efeito da adição da microssílica nas propriedades dos painéis; e

III) Comparar os resultados com a literatura e o processo comercial Bison.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

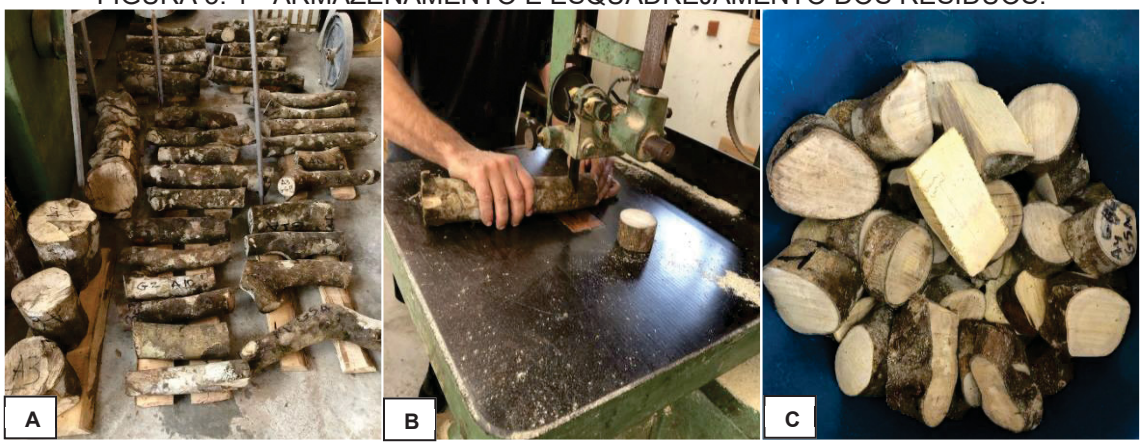
3.3.1. Materiais

3.3.1.1. Resíduo da madeira da laranjeira

O material utilizado para a pesquisa, conforme foi descrito no capítulo 1 – subitem 1.3.1 e subitem 2.3.2, incluiu as sobras dos troncos após a produção de sarrafos destinados para o painel EGP (capítulo 2) e galhos mais grossos, além da casca de dez árvores da espécie de *Citrus sinensis* (Laranja Pêra Rio), provenientes de plantio comercial no Pará. Usou-se os resíduos supracitados com intuito de reaproveitamento de todo material disponível e pela dificuldade do descascamento do vegetal.

Os resíduos foram transportados para a Universidade Federal do Paraná (UFPR) onde ficaram armazenados (Figura 3.1.a) por um tempo perdendo umidade em local sombreado, posteriormente eles foram seccionados (Figura 3.1.b) em tamanhos menores (Figura 3.1.c), sem exata dimensão, no Laboratório de Usinagem – UFPR.

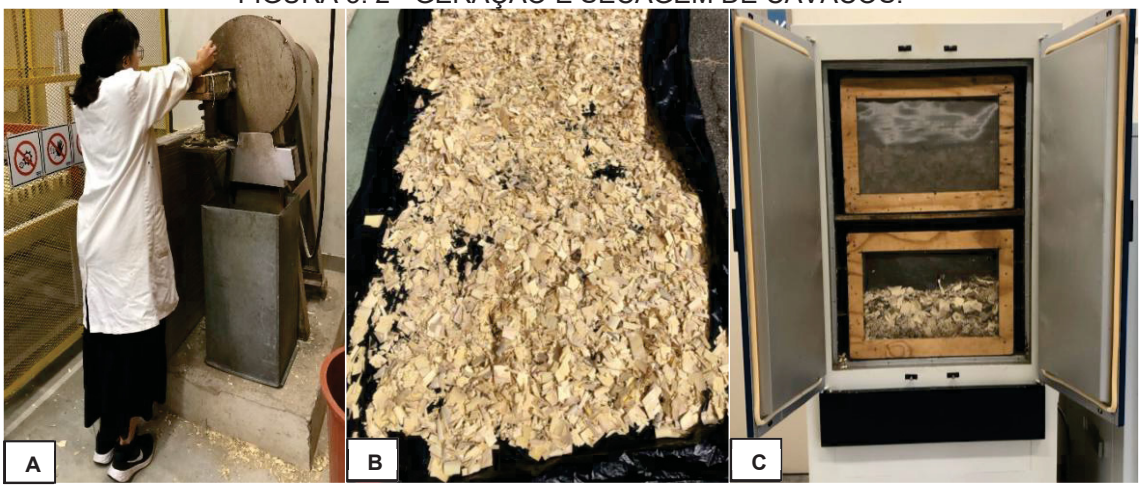
FIGURA 3. 1 - ARMAZENAMENTO E ESQUADREJAMENTO DOS RESÍDUOS.



FONTE: A autora (2025).

No Laboratório de Painéis da UFPR, os resíduos passaram pelo picador de disco (Figura 3.2.a) para serem transformados em cavacos e seguidamente, foram colocados para secar ao ar livre (Figura 3.2.b). Posteriormente, para adequar o teor de umidade, o material foi seco em estufa a 60°C (Figura 3.2.c).

FIGURA 3. 2 - GERAÇÃO E SECAGEM DE CAVACOS.



FONTE: A autora (2025).

Após a secagem, os cavacos foram processados em moinho de martelos (Figura 3.3.a) para obtenção das partículas (Figuras 3.3.b). As partículas foram classificadas entre as peneiras de 8 e 30 *mesh* (2,36 e 0,6 mm – respectivamente).

FIGURA 3. 3 - TRANSFORMAÇÃO DOS CAVACOS EM PARTÍCULAS.

FONTE: A autora (2025).

3.3.1.2. Cimento

A matriz cimentícia usada nesse estudo foi o cimento Portland Composto (CP II-Z-32) da marca VOTORANTIM comprada em uma loja de materiais para construção civil em Curitiba – Paraná. Esse aglomerante hidráulico é o mais usual em construções por ser de fácil aquisição e disponível no mercado. Optou-se em usar o cimento CP II-Z para tornar o processo de manufatura do painel

mais econômico. Os sacos de cimento foram levados para o Laboratório de Painel da UFPR e ficaram acondicionados em sacos plásticos para evitar contato com a umidade.

O cimento CP II-Z é fabricado atendendo às normas da NBR 16697 (ABNT, 2018) e tem em sua composição silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, carbonático (fíler) e pozolona e.

3.3.1.3. Acelerador de pega

Empregou-se a metodologia de Iwakiri e Prata (2007) que estabelece 3% do cloreto de cálcio ($CaCl_2$) em relação ao peso do cimento, misturado em água, na confecção dos painéis como agente acelerador da cura do cimento.

3.3.1.4. Microssílica

Utilizou-se sílica de casca de arroz (microssílica) como um aditivo mineral. A microssílica adquirida da produtora GEEA – Geradora de Energia Elétrica Alegrete Ltda, adicionada à mistura, na quantidade de 10% em relação ao peso do cimento.

3.3.1.5. Água

A água utilizada no processo de confecção dos painéis foi provida da rede de fornecimento estatal da região.

3.3.2. Métodos

3.3.2.1. Pré-tratamento das partículas

As partículas passaram por um pré-tratamento, conforme a metodologia proposta por Moslemi, Garcia e Hofstrand (1983), que inclui a imersão em: água fria, água quente e solução de 1% de NaOH, com finalidade de melhorar a compatibilidade da madeira com o cimento.

As partículas sem tratamento secaram em ambiente sombreado sendo monitorado o teor de umidade periodicamente com balança infravermelho. As partículas que passaram pelo tratamento em água fria permaneceram imersas em água à temperatura ambiente por 24 horas, seguidas de uma lavagem e secagem ao ar livre (Figura 3.4.a). Já as partículas submetidas ao tratamento

com água quente foram imersas em água a aproximadamente 60°C por 6 horas e, posteriormente, também foram lavadas e secas ao ar livre (Figura 3.4.b). O último tratamento envolveu a imersão das partículas em uma solução de hidróxido de sódio (Figura 3.4.c) – utilizando 10 litros de água para cada 100g de hidróxido de sódio, durante 2 horas, seguido de lavagem em água corrente e, por fim, secagem ao ar livre.

FIGURA 3. 4 - PRÉ-TRATAMENTO E SECAGEM DAS PARTÍCULAS AO AR LIVRE.

FONTE: A autora (2025).

O delineamento experimental consistiu em três pré-tratamentos nas partículas com e sem a adição do aditivo mineral, além do painel testemunha que não teve pré-tratamento das partículas. Foram produzidos três painéis por tratamento (Tabela 3.1).

TABELA 3. 1 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.

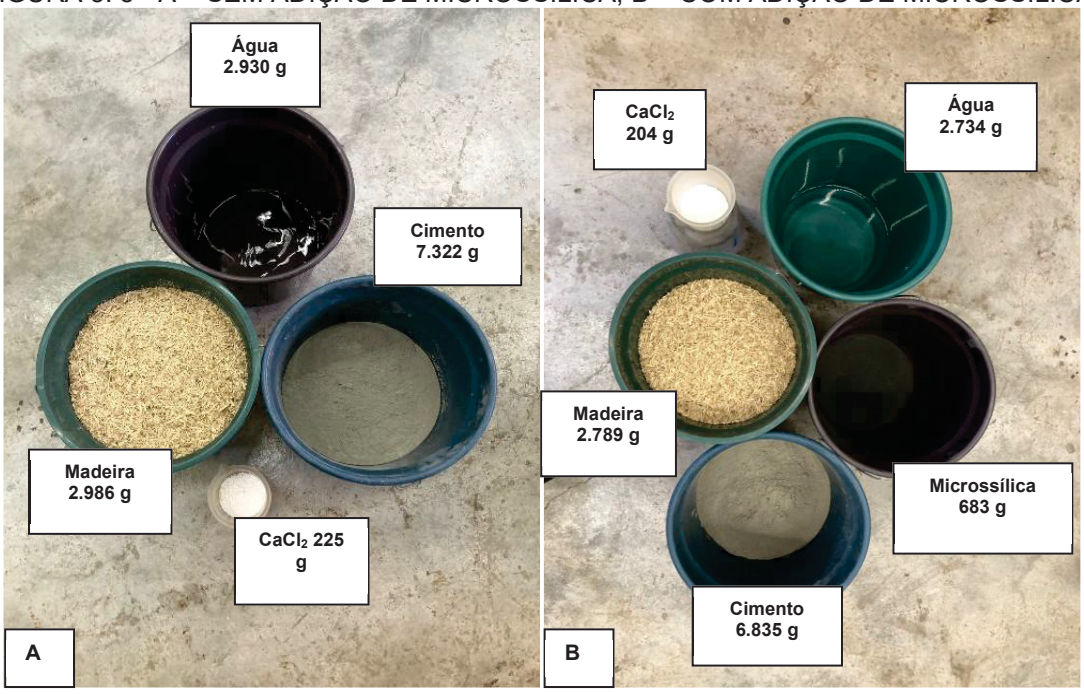
Tratamento	Pré-tratamento partículas	Aditivo
1 T	Partícula não tratada	sem microssílica
2 T		com microssílica
3 T	Imersão em água fria - 24h	sem microssílica
4 T		com microssílica
5 T	Imersão em água quente - 6h	sem microssílica
6 T		com microssílica
7 T	Imersão NaOH 1% - 2h	sem microssílica
8 T		com microssílica

FONTE: A autora (2025).

3.3.2.2. Cálculo de materiais para confecção dos painéis

Para a formação dos painéis ocorreram os cálculos dos seguintes componentes: partícula de madeira, cimento, água, cloreto de cálcio e microssílica (Figura 3.5). Para a definição da proporção para cada componente na mistura, foram consideradas as seguintes relações: madeira/cimento de 1:2,75; água/cimento de 1:2,5 (traço 0,4); 3% de cloreto de cálcio com base no peso do cimento; e 10% de aditivo mineral em relação ao peso do cimento nos painéis em que a microssílica foi inserida. A densidade nominal do painel para a realização dos cálculos foi de 1,2 g/cm³.

FIGURA 3. 5 - A – SEM ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA; B – COM ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA.

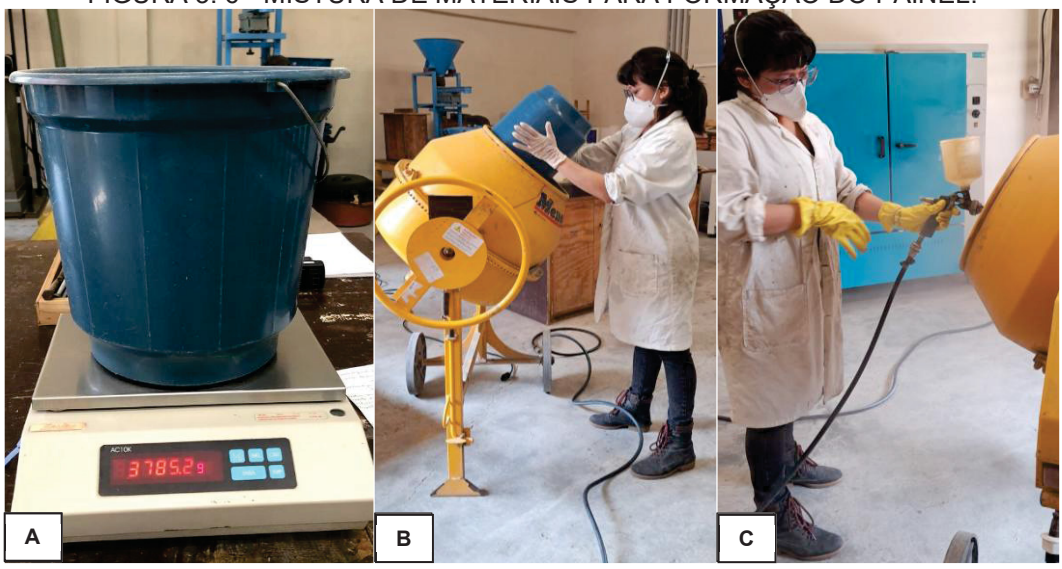


FONTE: A autora (2025).

3.3.2.3. Produção dos painéis

Após devidamente calculados e pesados (3.6.a), os componentes foram colocados dentro da betoneira de eixo inclinado, onde passaram pelo processo de mistura (3.6.b). Primeiro, foram adicionados as partículas e o cimento para a homogeneização; e em seguida; utilizando um aspersor (3.6.c), realizou-se a hidratação do material usando uma solução, previamente preparada, de água e cloreto de cálcio. Sequencialmente, a microssílica foi adicionada e também homogeneizado com as partículas e o cimento e com o restante da solução de água e cloreto de cálcio na manufatura dos painéis que continham esse aditivo mineral.

FIGURA 3. 6 - MISTURA DE MATERIAIS PARA FORMAÇÃO DO PAINEL.



FONTE: A autora (2025).

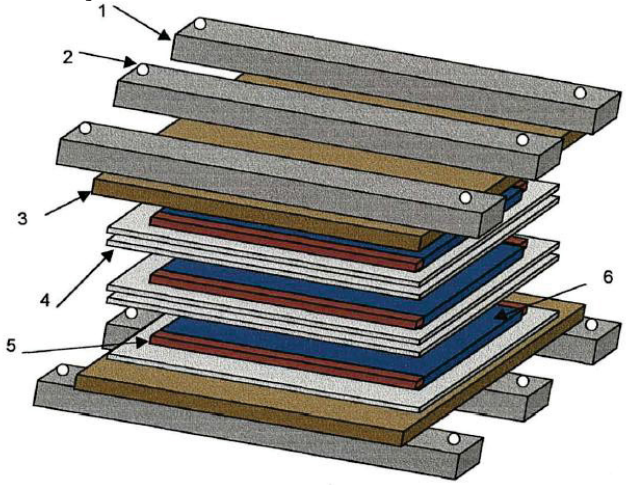
Após a homogeneização do material na betoneira, realizou-se a pesagem da massa destinada a cada painel. A produção dos colchões foi feita sobre placas metálicas lisas previamente untadas com óleo comum de cozinha, a fim de facilitar a retirada depois da prensagem (Figura 3.7.a). Em seguida, houve a separação e distribuição aleatória e manual na caixa formada do colchão (Figura 3.7.b), cuja dimensões são 500,5 mm de comprimento, 380,5 mm de largura e 12,5 mm de espessura.

FIGURA 3. 7 - FORMAÇÃO DO COLCHÃO PARA A PRÉ-PRENSAGEM.

FONTE: A autora (2025).

Com os colchões formados nas placas metálicas, sendo separados por barras metálicas de 12,5 mm de espessura, foram empilhados, prensados e grampeados sob pressão e em temperatura ambiente por 24 horas. A Figura 3.8 demonstra o esquema de grampeamento durante a prensagem dos painéis.

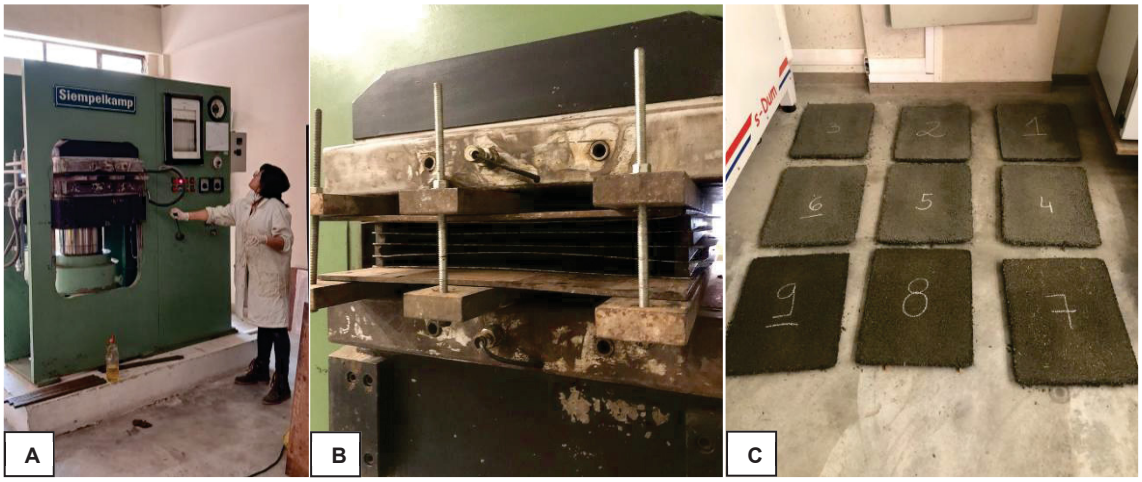
FIGURA 3. 8 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO GRAMPEAMENTO DOS PAINÉIS.



FONTE: Latorraca (2000).

Após a finalização do período de grampeamento (Figura 3.9.a), os painéis foram retirados da prensa (Figura 3.9.b) e alocados em cima de separadores de madeira (Figura 3.9.c) em local sombreado ao ar livre para concluir o restante dos 28 dias do período de cura (Figura 3.9).

FIGURA 3. 9 - PRÉ-PRENSAGEM E MATURAÇÃO DOS PAINEIS APÓS O PERÍODO DE GRAMPEAMENTO.



FONTE: A autora (2025).

3.3.2.4. Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Logo após o período de cura, os painéis foram cortados para a produção de corpos de prova e destinados à avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas. A Tabela 3.2 apresenta os ensaios realizados, as normas correspondentes e o número de repetições por painel.

TABELA 3. 2 - AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS.

Ensaio	Norma	Repetição por painel
Massa específica	EN 323 (2002)	6
Absorção de água	EN 317 (2002)	6
Inchamento em espessura	EN 317 (2002)	6
Flexão	EN 310 (2002)	6
Tração	EN 319 (2002)	6

FONTE: A autora (2025).

3.3.3. Análise estatística

Concluída a fase experimental dos testes, cada conjunto de dados foi analisado estatisticamente para avaliar a presença de diferenças estatísticas entre eles.

Utilizou-se o *Microsoft Office Excel* para tabulação de dados e o *software Statgraphics Centurion XIX* para todos os testes estatísticos exceto para o teste de Pearson, performado por meio do *software SIGMA PLOT* 12.

A análise dos ensaios dos painéis incluiu testes para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas nas propriedades físicas e mecânicas entre os tratamentos realizados nas partículas e com e sem o aditivo mineral.

Os dados passaram pelos testes de Grubb's, para verificação de *outliers*, Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos dados, teste de Bartlett para testar a homogeneidade e, quando havia homogeneidade das variâncias, prosseguiu-se com a ANOVA (Análise de Variância). Quando a hipótese de igualdade era rejeitada, as médias eram submetidas ao teste de Tukey a 95% de confiabilidade.

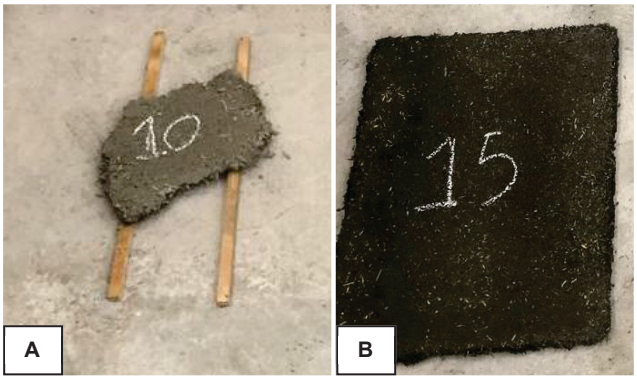
Foram avaliadas as correlações existentes entre variáveis (ME do painel e da madeira, teor de extrativos totais, água fria, água quente e NaOH) com as propriedades físicas (ME do painel, AA e IE após 2 e 24 horas) e as propriedades mecânicas (LI, MOR e MOE).

Os dados normalizados foram testados por Análise de Variância e pelo teste de comparação de média Tukey ao nível de probabilidade de 95%.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processo de cura, de 28 dias, os painéis foram seccionados. Entretando, a testemunha (controle) sem e com adição de microssílica não atingiram as condições adequadas de manuseio e corte, conforme Figura 3.10. Desta forma, esses tratamentos foram excluídos da avaliação da qualidade dos painéis e consequentes análises estatísticas.

FIGURA 3. 10 - COMPARATIVOS ENTRE PAINÉIS.



LEGENDA: A – painel sem tratamento de partículas; B – painel com tratamento de partículas.
FONTE: A autora (2025).

Os painéis foram produzidos utilizando a casca, tanto do tronco quanto dos galhos visando o melhor aproveitamento dos resíduos produzidos quando da renovação dos pomares de *Citrus sinensis*. Como indicado na Tabela 1.5 do capítulo 1, a casca apresentou concentrações de extrativos superiores à da madeira. Contudo, um elevado grau de dificuldade de descascamento poderia ser um empecilho ou fator limitante em uma aplicação prática ou industrial. Latorraca *et al*. (1999) afirmam que os extrativos presentes na madeira influenciam a interação entre a madeira e o cimento, além de afetar as interações internas do cimento, gerando chapas de menor qualidade.

Um outro fator que pode ter impactado a interação eficaz nos painéis testemunha, tanto sem quanto com a adição de microssílica, foi a ausência de tratamentos prévios nas partículas, o que resultou na inibição do cimento em relação à madeira ocasionando a ruptura dos painéis. Os pré-tratamentos, como água fria, água quente e NaOH, aplicados a materiais lignocelulósicos são capazes de melhorar essa interação (Pimental, 2000; Souza, 2006; Iozzi *et al*.,

2010). Desta forma, evidencia-se a relevância dos pré-tratamentos das partículas para a produção de painéis cimento-madeira.

3.4.1. Propriedades físicas dos painéis

Os valores médios dos tratamentos (água fria, água quente, hidróxido de sódio e testemunha), da massa específica (ME), absorção de água (AA) e de inchamento em espessura (IE), após 2 e 24 horas de imersão em água, com e sem adição de microssílica estão apresentados na Tabela 3.3.

TABELA 3. 3 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS CIMENTO MADEIRA

Tratamentos	ME (g/cm³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
Painel AF/SM	1,23 a	12,67 b	19,04 b	1,04 a	1,23 a
	(2,04)	(10,06)	(4,16)	(26,03)	(2,84)
Painel AQ/SM	1,20 a	12,74 b	19,65 b	1,11 a	1,61 ab
	(5,82)	(15,18)	(11,75)	(18,29)	(15,87)
Painel NaOH/SM	1,11 a	18,28 a	23,75 a	2,51 b	2,88 b
	(2,32)	(4,87)	(2,99)	(21,00)	(2,54)
Painel AF/CM	1,18 a	13,44 b	17,93 b	1,15 a	1,20 a
	(2,73)	(11,01)	(2,06)	(10,91)	(26,19)
Painel AQ/CM	1,25 a	14,00 ab	17,87 b	0,95 a	1,33 a
	(2,89)	(3,66)	(2,40)	(24,20)	(11,23)
Painel NaOH/CM	1,18 a	17,77 a	20,00 a	1,71 ab	2,38 ab
	(9,24)	(6,95)	(2,36)	(31,35)	(38,04)

LEGENDA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%) das amostras. ME: massa específica aparente; AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio; SM: sem microssílica; e CM: com microssílica.
FONTE: A autora (2025).

Os resultados médios da massa específica dos painéis produzidos com pré-tratamento das partículas em água fria, água quente e NaOH (sem e com adição de microssílica) foram estatisticamente iguais entre si. O maior valor foi obtido no tratamento água fria sem microssílica (1,23 g/cm³) e o menor em NaOH sem microssílica (1,14 g/cm³).

Todos os painéis encontram-se na faixa de 1,14 g/cm³ a 1,23 g/cm³ e estão próximos da ME nominal calculada de 1,20 g/cm³ do painel. Os coeficientes de variação, que apresentam em sua maioria baixos valores,

sugerem que os processos operacionais utilizados na fabricação de painéis em condições laboratoriais foram apropriados (Iwakiri *et al*., 2017). Em comparação com a literatura, Iwakiri *et al*. (2017) estudaram o potencial uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis cimento-madeira e obtiveram médias que variaram de 1,14 g/cm³ a 1,27 g/cm³.

Os resultados de AA após 2 horas variaram de 18,28% para os painéis com tratamento NaOH sem microssílica e 12,67% para água fria sem microssílica. Os painéis AF/SM (12,67%), AQ/SM (12,74%) e AF/CM (13,44%) foram semelhantes entre si, porém diferiram do NaOH/SM (18,28%) e NaOH/CM (17,77%).

Pomarico (2013) encontrou valores médios de AA após 2h, com os mesmos tratamentos de partículas em clones de Eucalipto, de 2,92% a 12,50%, valores inferiores aos encontrados nesta pesquisa. Okino *et al*. (2004) ao estudar a viabilidade de utilização de quatro clones de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. para painéis cimento-madeira (e com a adição de microssílica) obtiveram valores de 11,25% a 16,85%, sendo similares aos encontrados para laranjeira. Os resultados desta pesquisa para AA 2h, são similares aos apresentados por Castro (2015), que, analisando oito espécies de madeiras tropicais, obteve médias que oscilaram entre 13,86% e 19,79%. Em comparação com painéis cimento-madeira de *Pinus taeda*, produzidos nas proporções madeira/cimento de 1:2,5 e 1:3,0, Iwakiri *et al*. (2017) encontraram valores médios de 7,00% e 7,59%, respectivamente, sendo estes, inferiores a absorção de água apresentada pelos painéis produzidos com madeira de laranjeira.

Para AA 24 horas, os valores médios variaram de 17,87% para os painéis com tratamento AQ/CM a 23,41% para os painéis NaOH/SM. O tratamento NaOH/SM apresentou média estatisticamente diferente dos demais tratamentos.

Em termos comparativos, as médias obtidas para AA 24 horas estão superiores aos encontrados por Silva et al. (2006), que ao estudar *Eucalyptus urophylla* com a adição de microssílica em três porcentagens (0, 20 e 30%) obtiveram valores médios de 10,46%, 8,83% e 10,41%, nesta ordem. No entanto, os valores são semelhantes aos encontrados para painéis de cimento-madeira para espécies tropicais e comerciais, como: *Schizolobium amazonicum* (23,22% a 25,27%), *Cecropia hololeuca* (17,64% a 20,86%), *Hevea brasiliensis* (12,44% a 23,56%), *Pouteria guianensis* (15,28%), *Eucalyptus grandis* (15,15% a

20,34%), *Eucalyptus dunnii* (14,24% a 20,30%) *Eucalyptus saligna* (29,11%) e *Pinus* sp. (28,45%) (Iwakiri; Prata, 2008; Iwakiri *et al*., 2012; Castro *et al*., 2015; Iwakiri *et al*., 2017; Castro *et al*., 2018; Marchesan *et al*., 2022).

Com base nos resultados da Tabela 3, todos os painéis produzidos sem e com adição de microssílica, independente do tratamento das partículas, atenderam às exigências do fabricante de chapas de cimento-madeira CETRIS (2004), que especifica o valor máximo de absorção de água permitido para as chapas de cimento-madeira em 32%. Sendo assim, os resíduos lignocelulósicos de laranjeira utilizados nesta pesquisa para a confecção de painéis de cimento-madeira enquadram-se neste requisito.

Os valores médios obtidos para IE após 2h variaram de 0,95% para painéis AQ/CM a 2,51% para painéis NaOH/SM. Os painéis AQ/CM (0,95%), AF/SM (1,04%), AQ/SM (1,11%) e AF/CM (1,15%) foram semelhantes estatisticamente entre si, porém diferiram do tratamento NaOH/SM (2,51%).

Em termos comparativos com a literatura, Iwakiri *et al*. (2017) encontraram para espécie *Hevea brasiliensis* resultados médios que variaram de 0,54% a 1,21%, sendo inferiores aos obtidos neste estudo. Os valores encontrados por Sá *et al*. (2010) para espécie *Toona ciliata* variaram de 0,37% a 0,97%, também inferiores aos de *Citrus sinensis*. Porém, foram similares aos resultados obtidos por Silva *et al*. (2005) para espécie de *Eucalyptus urophylla*¸ que também utilizou a casca na mistura para produção de painéis, com médias de 0,68% a 1,25%.

Para IE após 24h os valores médios variaram de 1,61% nos painéis em AQ/SM a 2,88% para os painéis NaOH/SM. Os painéis AF/CM (1,20%), AF/SM (1,23%) e AQ/CM (1,33%) foram semelhantes estatisticamente entre si e diferiram do NaOH/SM (2,88%).

Em relação aos dados encontrados na literatura, Sá *et al*. (2010) relataram que, após 24 horas de imersão em água, os valores médios obtidos para a espécie *Toona ciliata* ficaram entre 0,34% a 0,78%, valores que são inferiores aos observados neste estudo. Entretanto, os painéis produzidos com madeira de laranjeira são consoantes com os valores médios das espécies *Eucalyptus urophylla*, cuja variação foi de 1,20% a 5,54% (Silva *et al*., 2005), assim como com os valores apresentados pela espécie *Pinus taeda*, que foi de 1,01% (Iwakiri *et al*., 2017).

Os painéis de cimento-madeira, do ponto de vista comercial, apresentam valores de 1,0% e entre 1,5% a 1,8%, para inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, respectivamente (Bison 1978; Cetris, 2004). Os resultados obtidos para os painéis produzidos com os resíduos de laranjeira, sendo eles AF/SM e AQ/SM estão conformes com às especificações para produção de painéis comerciais após 2h e 24h de imersão, nesta ordem.

Os painéis cimento-madeira se destacam pela sua alta estabilidade dimensional, permitindo seu uso em ambientes com grandes variações de umidade (Sá *et al*., 2010). Estudos realizados por Bilcati (2015) corroboram que os tratamentos de imersão em água (fria, quente e hidróxido de sódio) contribuem para diminuir a variação dimensional, além de melhorar a resistência à umidade, garantindo que esses painéis possuam alta durabilidade.

Os resultados médios dos efeitos principais do pré-tratamento de partículas e adição de microssílica para a massa específica, absorção de água após 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 2 e 24 horas estão explanados na Tabela 3.4.

TABELA 3. 4 - RESULTADOS MÉDIOS DOS EFEITOS PRINCIPAIS DO PRÉ-TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS E DA MICROSSÍLICA SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS.

Tratamentos	**ME (g/cm³)**	**AA 2h (%)**	**AA 24h (%)**	**IE2h (%)**	**IE 24h (%)**
Pré-tratamento das partículas					
AF	1,20 a	13,06 b	18,49 b	1,10 b	1,22 b
	(5,70)	(14,77)	(4,46)	(18,12)	(16,51)
AQ	1,22 a	13,37 b	18,76 b	1,03 b	1,47 b
	(6,00)	(14,72)	(9,47)	(20,59)	(16,38)
NaOH	1,14 b	18,02 a	21,88 a	2,11 a	2,63 a
	(9,40)	(8,46)	(9,70)	(30,74)	(29,09)
Aditivo mineral					
Sem microssílica	1,18 a	14,56 a	20,81 a	1,55 a	1,91 a
	(6,54)	(20,94)	(12,27)	(50,51)	(43,58)
Com microssílica	1,20 a	15,07 a	18,60 b	1,27 a	1,63 a
	(5,67)	(15,05)	(5,99)	(35,61)	(45,42)

LEGENDA: ME: massa específica aparente; AA: absorção de água após 2 ou 24 horas; IE: inchamento em espessura após 2 ou 24 horas; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio. Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a confiabilidade de 95%. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%) das amostras.
FONTE: A autora (2025).

Os resultados apresentados (Tabela 3.4) indicaram que o do pré-tratamento das partículas influenciou significativamente todas as propriedades físicas. O tratamento das partículas em água fria e água quente apresentaram resultados estatisticamente equivalentes, gerando painéis mais estáveis em comparação com os painéis produzidos com hidróxido de sódio. Embora o hidróxido de sódio promova uma maior solubilização e remoção de extrativos e carboidratos presentes em materiais lignocelulósicos — o que deveria ter refletido na melhoria da interação entre a madeira e o cimento, e assim resultado em um painel de melhor qualidade — isso não foi observado no presente estudo, fato que pode estar associado a um provável efeito residual de NaOH nas superfícies das partículas.

Ao analisar o efeito da adição de microssílica nos painéis, nota-se que, de modo geral, essa adição não influenciou de forma significativa as propriedades físicas. Esse resultado é diferente do que se esperava, uma vez que a microssílica deveria tornar a matriz menos porosa e, portanto, mais resistente, especialmente na junção entre a matriz e o agregado. Isso ajudaria a diminuir os poros e a melhorar a estabilidade. Notou-se que houve apenas uma leve redução no inchamento em espessura.

Portanto, sob uma perspectiva econômica, optar por não utilizar esse aditivo pode levar a uma redução nos custos tanto do processo quanto do produto final.

A Tabela 3.5 apresenta as correlações obtidas pelo teste de Pearson, entre as propriedades físicas dos painéis (absorção de água e o inchamento em espessura, após 2 e 24 horas em imersão em água) com a massa específica do painel, a massa específica da madeira utilizada na mistura, o teor de extrativos totais e os pré-tratamento (água fria, água quente e hidróxido de sódio – NaOH) que ocorreram nas partículas.

TABELA 3. 5 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E A MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL, DA MADEIRA, DOS EXTRATIVOS TOTAIS E DOS PRÉ-TRATAMENTOS.

Variáveis	ME do painel	AA 2h	AA 24H	IE 2h	IE 24h
ME do painel	-	-0,843*	-0,699*	-0,063	-0,111
ME da madeira	-0,353	-0,276	0,013	0,040	0,020
Extrativos totais	0,189	-0,039	-0,291	-0,365	-0,207
Água fria	0,188	-0,366	-0,272	-0,330	-0,173
Água quente	0,204	-0,408	-0,300	-0,383	-0,221
NaOH	0,213	-0,420	-0,318	-0,395	-0,238

LEGENDA: ME, massa específica; AA, absorção de água após 2 ou 24 horas; e IE, inchamento em espessura após 2 ou 24 horas; * Significativo ao nível de 95% de confiabilidade.
FONTE: A autora (2025).

A única propriedade física que apresentou correlação foi a absorção de água (após 2 e 24 horas), contudo, essa correlação é inversa à massa específica do painel, devido ao seu valor negativo. Esses resultados estão coerentes com os relatados por Castro (2015), que investigou oito espécies tropicais para a fabricação de painéis cimento-madeira e encontrou correlações significativas semelhantes para a massa específica do painel e absorção de água (após 2 e 24 horas), e obteve também valores negativos para essa correlação. Porém, não encontrou correlações significativas entre a massa específica do painel e o inchamento em espessura para 2 e 24 horas.

3.4.2. Propriedades mecânicas dos painéis

Os resultados médios para ligação interna (LI), módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) a flexão estão presentes na Tabela 3.6.

TABELA 3. 6 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.

Tratamento	LI (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Painel AF/SM	0,86 ab (18,27)	2,77 b (18,08)	1729,24 bc (15,00)
Painel AQ/SM	0,97 b (18,06)	2,50 b (13,51)	1726,19 bc (8,03)
Painel NaOH/SM	0,50 a (20,00)	1,29 a (16,01)	865,93 a (21,74)
Painel AF/CM	0,78 ab (17,33)	2,04 ab (22,02)	1137,19 ab (29,36)
Painel AQ/CM	0,86 ab (27,75)	2,99 b (10,18)	1935,74 c (15,85)
Painel NaOH/CM	0,59 ab (8,60)	1,33 a (26,13)	954,75 a (30,56)

LEGENDA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%) das amostras. LI: ligação interna ou tração perpendicular ao plano do painel; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio; SM: sem microssílica; e CM: com microssílica.
FONTE: A autora (2025).

Os resultados da análise estatística das propriedades mecânicas dos painéis indicaram que houve diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos para todas as propriedades avaliadas.

Para a ligação interna o menor valor foi para o tratamento produzido com partículas tratadas em NaOH e sem microssílica (0,50 MPa) e maior valor encontrado foi a partir do tratamento cujas partículas foram tratadas previamente em água fria e sem microssílica (0,97 MPa), sendo estes estatisticamente diferentes. Não foi constatada diferença estatística significativa entre os demais tratamentos. Quando comparados à exigência mínima estabelecida pelo processo Bison (1978), que é de 0,4 MPa, esses resultados são considerados satisfatórios, indicando conformidade.

Com relação a outras pesquisas publicadas, os resultados obtidos para os painéis produzidos com resíduo de *Citrus* foram semelhantes às encontradas por Sá *et al*. (2010), que analisaram a espécie *Toona ciliata* de quatro locais e obtiveram resultados médios que variaram de 0,94 MPa a 1,15 MPa; e de *Pinus* tropicais, com médias que variaram de 0,41 MPa a 0,85 MPa (Iwakiri *et al*., 2017). Os resultados foram superiores à painéis produzidos com a espécie *Eucalyptus urophylla*, com e sem inclusão de casca, cujos valores médios variaram entre 0,33 MPa a 0,68 MPa em estudo conduzido por Silva *et al*. (2005), e à painéis

produzidos com as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, com faixa de variação de 0,28 MPa a 0,47 MPa em pesquisa realizada por Iwakiri e Prata (2008).

Para o módulo de ruptura, os valores médios variaram de 1,29 MPa encontrado a partir do painel NaOH/SM e 2,99 MPa no painel AQ/CM. Os painéis NaOH/SM e NaOH/CM foram estatisticamente semelhantes entre si, enquanto diferiram dos painéis AF/SM, AQ/SM e AQ/CM, que se mostraram semelhantes entre eles. Os efeitos dos tratamentos nas partículas, e principalmente do aditivo mineral proporcionaram um aumento significativo nos valores de MOR, exceto no tratamento água fria.

Comparativamente aos valores citados na literatura, os resultados médios obtidos nesta pesquisa foram inferiores ao valor mínimo estabelecido pelo processo Bison (1978), sendo este de 8,82 MPa. Os resultados desta pesquisa também apresentaram valores inferiores a outras espécies, como: Paricá, que teve valores de 6,48 MPa a 7,91 MPa (Iwakiri *et al*., 2012); Embaúba, com valores de 6,81 MPa a 8,32 MPa (Iwakiri *et al*., 2012); Cedro australiano, com médias de 11,00 MPa a 6,36 MPa (Sá *et al*., 2010); Quaruba-verdadeira, Jatobá e Cedro cujos valores médios foram de 4,21 MPa, 7,56 MPa e 9,10 MPa, respectivamente (Macedo *et al*., 2012); e *Pinus taeda* com média de 3,90 MPa (Iwakiri *et al*., 2017). Entretanto, os painéis produzidos com partículas tratadas previamente com água fria e com microssílica (2,99 MPa), água fria sem microssílica (2,77 MPa) e água quente sem microssílica (2,50 MPa) foram superiores aos encontrados por Souza *et al*. (2021), que produziram painéis de cimento-madeira com fibra de coco e obtiveram valor médio de 2,15 MPa.

Os resultados do MOE seguiram as mesmas tendências identificadas para o MOR, isto é, as menores médias foram observadas nos painéis NaOH/SM (865,93 MPa) e no NaOH/CM (954,75 MPa) e as mais elevadas foram registradas nos painéis AQ/CM (1.935,74 MPa) e AF/SM (1.729,24 MPa). Também foi evidenciado que os pré-tratamentos das partículas, assim como a utilização do aditivo mineral proporcionaram um expressivo aumento nos valores do MOE, exceto em condição água fria. Iwakiri *et al*. (2008) afirmam que tratamentos de partículas podem não ser eficientes e suficientes para melhorar as propriedades dos painéis cimento-madeira para determinadas espécies.

Os painéis de resíduos de laranjeira, que incluem tratamento das partículas e adição ou não de microssílica não atenderam às especificações mínimas de MOE exigidas para painéis comerciais do processo Bison (1978), que é de 3.000 MPa. Foram inferiores também a outras espécies, como: Hevea brasiliensis, que obteve médias de 2.877 MPa a 3.932 MPa (Iwakiri *et al*., 2017); *Eucalyptus saligna*, com valor médio de 2.522 MPa (Castro *et al*., 2015); e *Toona ciliata*, com médias entre 4.270,61 MPa a 4.696,56 MPa (Sá *et al*., 2010). Por outro lado, são similares aos valores médios de quatro espécies de Eucalipto (*Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora*), com valores entre 1.840 MPa a 3.390 MPa em estudo conduzido por Latorraca (2000), e semelhante a espécie comercial *Pinus taeda*, cujo valor médio encontrado foi de 1.943 MPa a partir de estudo realizado por Iwakiri *et al*. (2017).

Os valores baixos observados para o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade dos painéis com resíduos da madeira de laranjeira podem ser explicados pela elevada presença de extrativos, especialmente na casca, e pela composição química dessa madeira. Esses fatores têm o potencial de influenciar o processo de cura do cimento e afetar as propriedades mecânicas dos painéis (Nazerian *et al*., 2011; Castro *et al*., 2018).

A Tabela 3.7 apresenta os resultados da análise fatorial para o efeito do pré-tratamento nas partículas e do aditivo mineral (microssílica).

TABELA 3. 7 - RESULTADOS MÉDIOS DOS EFEITOS PRINCIPAIS DO PRÉ-TRATAMENTO DAS PARTÍCULAS E DA MICROSSÍLICA SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS.

Tratamentos	LI (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Pré-tratamento das partículas			
AF	0,82 b (16,78)	2,40 b (24,22)	1433,21 b (29,33)
AQ	0,91 b (21,45)	2,74 b (14,41)	1830,97 b (13,21)
NaOH	0,54 a (16,16)	1,31 a (19,64)	910,34 a (24,71)
Aditivo mineral			
Sem microssílica	0,77 a (31,97)	2,18 a (34,46)	1440,45 a (32,27)
Com microssílica	0,74 a (24,53)	2,12 a (37,19)	1342,56 a (39,19)

LEGENDA: LI: ligação interna ou tração perpendicular; MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; AF: água fria; AQ: água quente; NaOH: hidróxido de sódio. Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a confiabilidade de 95%. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%) das amostras.
FONTE: A autora (2025).

Os painéis produzidos com tratamentos das partículas em água fria e água quente apresentaram valores médios de ligação interna estatisticamente iguais entre si e superiores aos painéis gerados com partículas tratadas em NaOH. Para o módulo de ruptura, os tratamentos de partículas em água fria e água quente foram semelhantes entre si e diferiram do tratamento NaOH. Em relação ao módulo de elasticidade, painéis produzidos com partículas tratadas em água fria e água quente apresentaram médias estatisticamente superiores em comparação ao tratamento hidróxido de sódio. É importante inferir que, para as três propriedades mecânicas analisadas, o tratamento de partículas apenas em água, sem aditivo químico, proporciona resultados satisfatórios, o que pode reduzir custos, especialmente com NaOH, bem como, com tratamento de efluentes gerados a partir deste produto químico.

Ademais, o uso de água para a remoção dos extrativos na produção de painéis pode aprimorar consideravelmente a qualidade do produto, além de ser uma alternativa mais econômica em comparação aos solventes orgânicos (Bufalino *et al*., 2013).

Os resultados da análise fatorial mostraram que a adição de microssilica não contribuiu para a melhoria das propriedades mecânicas, não sendo

observada diferença estatística significativa em nenhuma das propriedades avaliadas. Essa constatação, apesar de não esperada, pode trazer informações importantes do ponto de vista econômico, já que a este aditivo mineral possui preço mais elevado que o cimento. Segundo Silva *et al*. (2006), a substituição parcial do cimento por microssílica possibilita melhorias nas propriedades de resistência de painéis produzidos partindo de espécies de baixa compatibilidade com o aglomerante, desde que a proporção para substituir o cimento na composição esteja alinhada com a aptidão da espécie. Talvez, a quantidade de 10%, utilizada neste estudo, não tenha sido adequada para a espécie *Citrus sinensis*.

A Tabela 3.8 apresenta as correlações analisadas entre as propriedades mecânicas (LI, MOR e MOE) dos painéis e as variáveis como a massa específica do painel, massa específica da madeira de laranjeira, o teor de extrativos totais e os pré-tratamentos (água fria, água quente e hidróxido de sódio – NaOH).

TABELA 3. 8 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E A MASSA ESPECÍFICA DO PAINEL, DA MADEIRA, DOS EXTRATIVOS TOTAIS E DOS PRÉ-TRATAMENTOS.

Variáveis	LI	MOR	MOE
ME do painel	0,883*	0,791*	0,445*
ME da madeira	-0,034	-0,025	-0,068
Extrativos totais	0,558	0,256	0,406
Água fria	0,506	0,214	0,365
Água quente	0,538	0,271	0,421
NaOH	0,580	0,288	0,437

LEGENDA: ME, massa específica; AA, absorção de água após 2 ou 24 horas; e IE, inchamento em espessura após 2 ou 24 horas; * Significativo ao nível de 95% de confiabilidade.
FONTE: A autora (2025).

Houve correlação significativa entre as propriedades LI, MOR e MOE e a massa específica do painel. A correlação positiva apresentada por MOR e MOE demonstra que painéis mais densos apresentam valores médios mais elevados para essas propriedades. Castro (2015) obteve também correlações positivas para MOR e MOE em relação à massa específica do compósito e encontrou valor semelhante para o MOR (0,792) ao estudar oito espécies tropicais para produção de painel cimento-madeira. As demais propriedades analisadas, assim como nas propriedades físicas, não demonstraram correlação significativa entre o ME da madeira, o teor de extrativos totais, água fria, água quente e NaOH.

3.5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a madeira de *Citrus sinensis* possui massa especifica média adequada para a produção de painéis cimento-madeira.

Os valores médios das propriedades químicas indicaram que a madeira de *Citrus sinensis* (tronco e galhos) apresentam valores compatíveis com a literatura para angiospermas, porém sua casca apresentou valores inferiores. A casca apresentou elevados teores de extrativos, o que possivelmente prejudicou a interação entre o material lignocelulósico e o cimento.

A utilização de pré-tratamentos das partículas contribuiu para a qualidade físico-mecânica dos painéis, com destaque para os tratamentos em água fria e em água quente.

A adição da microssílica, nas condições deste estudo, não apresentou efeito significativo sobre as propriedades dos painéis. Não utilizar a microssílica portanto simplifica o processo de produção e pode torna-lo mais viável economicamente.

A avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis cimento-madeira produzidos com a espécie *Citrus sinensis* mostrou-se coerente quando comparada aos valores de referência encontrados na literatura para outros espécies e aos apresentados pelo processo Bison.

A madeira (ou material lignocelulósico) de *Citrus sinensis* apresentou potencial de utilização como matéria prima para a produção de painéis cimento-madeira destinados à construção civil, especialmente para paredes externas, agregando valor a este resíduo obtido ao final da vida útil do pomar e contribuindo para produtos mais sustentáveis.

CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados gerais desta pesquisa, apresenta-se as seguintes conclusões:

- A madeira da espécie *Citrus sinensis* tem uma textura fina e é pouco porosa. Ela apresenta muitos cristais prismáticos e sua grã é predominantemente direita (reta). Possui densidade média e é de média instabilidade. Além disso, a casca da madeira possui altos teores de extrativos.
- Na produção de painéis colados lateralmente, a madeira de *Citrus sinensis* teve desempenho satisfatório quando utilizada com o adesivo melamina-ureia-formaldeído, na gramatura de 200 g/m². Ela atendeu ao critério do 5° percentil inferior no pré-tratamento úmido e ficou um pouco acima do padrão exigido pelas normas.
- Para fabricar painéis de cimento-madeira, o resíduo lignocelulósico da laranjeira mostrou-se uma opção bastante viável. O uso de pré-tratamentos nas partículas ajudou a melhorar a qualidade físico-mecânica dos painéis, especialmente quando os tratamentos foram feitos com água fria ou quente. Por outro lado, a adição de microssílica não teve um efeito relevante nas propriedades dos painéis.

De maneira geral, as análises realizadas ao longo deste trabalho demonstram que é viável produzir painéis EGP destinados a ambientes internos e os compósitos cimento-madeira para paredes externas. Considerando a grande quantidade de resíduos gerados nos pomares e o processo de fabricação desses painéis, que é mais barato do que os métodos industriais utilizados para painéis MDF e MDP, essa pode ser uma opção de investimento inicial acessível para o setor da construção civil na região Norte do Brasil.

Sugestões para futuros trabalhos:

- Avaliar diferentes tipos de adesivos para uso externo, como o melamina-formaldeído, ou testar outras gramaturas para melhorar a resistência na colagem lateral.
- Testar substituição de proporções de microssílica e outros tipos de pré-tratamentos principalmente na casca.
- Realizar estudos que ofereçam dados sobre benefícios de rendimento obtidos a partir da utilização de resíduos agroindustriais, além de analisar a viabilidade econômica da produção destes painéis reconstituídos.
- Investigar a interação entre as partículas de madeira e o cimento em contexto de produção em larga escala, bem como avaliar métodos para acelerar o processo de cura dessa interação.

REFERÊNCIAS

AHN, W. Y.; MOLESMI, A. A. Sem examination of wood-portland cement bonds. **Wood Science**, v. 13, n. 2, p. 77-82, 1980.

AKGÜL, M.; AKÇA, M. Análise química da madeira Oleaster (*Elaeagnus angustifólia* L.) e Casca. II Livro de Anais do Simpósio Nacional de Florestas e Meio Ambiente do Mediterrâneo. p, 568-573, 2014.

ALBINO, V. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e o teor de extrativos totais na madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p.807-815, 2012.

ALIAÑO-GONZÁLEZ, M. J.; GABASTON, J.; ORTIZ-SOMOVILLA, V.; CANTOS-VILLAR, E. Wood Waste from Fruit Trees: Biomolecules and Their Applications in Agri-Food Industry. **Biomolecules**, 2022, 12, 238. https://doi.org/10.3390/biom12020238

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D2244**. Standard practice for calculation of color tolerances and diferences from instrumentally measured color coordinates. West Conshohocken: ASTM, 2011.

Anuário da Agricultura Brasileira [AGRIANUAL]. São Paulo, Brazil: Informa Economics FNP. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Estudo Setorial 2009**: ano base 2008. Curitiba, 2009. 48 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT 11941:** Madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT 7190**: Madeira – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BARBOSA, A. M.; SANTOS, G. M.; MELO, G. M. M.; LITAIFF, H. A.; MARTORANO, L. G.; GIACON, V. M. Evaluation of the use of açaí seed residue as reinforcement in polymeric composite. **Polymers and Polymer Composites**, v. 30, 2022.

BERTI, S.; BURATO, P.; DIONISI-VICI, P.; ALLEGRETTI, O. Orange wood for parquet and engineered flooring use. **BioResources**, v. 13, n. 1, p. 586-596, 2018.

BILCATI, G. K. **Produção de painéis de cimento Portland reforçados com fibra de curauá (***Ananas erectifolius)***.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Setor de Materiais e Componentes de Construção, Curitiba, 2015.

BISON. **WOOD-CEMENT BOARD**. Berlin: Springer, 1978. 10 p.

BORSCHIVER, S.; TAVARES, A. S. (Org.). **Catalisando a economia circular**: conceitos, modelos de negócios e sua aplicação em setores da economia. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 2022. 183p.

BORTOLAN, F. P. **Questões ambientais que envolvem a erradicação dos pomares de laranja**. Revista Coopercitrus, ed. 309, 2012.

BOTEON, M.; NEVES, E. M. Citricultura brasileira: aspectos econômicos. 20–36. In: MATTOS JUNIOR, D., NEGRI, J. D., PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Org.) Citros (pp. 20-36). **Instituto Agronômico**, Fundag, 2005.

BOTOSSO, P. C. **Identificação macroscópica de madeiras:** guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

BRAGA, B. A. **Avaliação do potencial de uso de espécies de palmeiras Amazônicas para produção de painéis colados lateralmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2022.

BRUNO, M. R.; RUSSO, D.; CETERA, P.; FARAONE, I.; GIUIDICE, L. V.; MILELLA, L.; SINISGALLI, C.; FRITSCH, C.; DUMARCAY, S.; GERARDIN, P. Chemical analysis and antioxidante Properties of orange-tree (*Citrus sinensis* L.) biomass extracts obtained via diferente extraction techniques. **Biofuels**, **Bioproducts and Biorefining**, v.14, n. 3, p. 509-520. DOI: 10.1002/bbb. 2090. 2020.

BUENO, M. A. P. **Painéis de Medium Density fiberboard fabricados com bagaço de cana-de-açúcar e madeira de reflorestamento**. Dissertação (Mestrado), Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2014.

BUFALINO, B.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedo australiano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 2013; 48(6):627-635.

BURG, P.; MAŠÁN; V.; DUŠEK, M.; ZEMÁNEK, P.; RUTKOWSKI, K. Review of energy potential of the wood biomass of orchards and vineyards in the Czech Republic. **Research in Agricultural Engineering**, v. 63, 2017.

CABRAL, M. R.; FIORELLI, J.; JÚNIOR, H. S. Study of the potential use of the sugarcane bagasse in cement-panels. In: **Proceedings of the International Conference on Composite Science and Technology**, Lisbon, 2015.

CAMPELO, S.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; AGUIAR, O. R. Utilização da madeira de *Genipa americana* para produção de painéis de colagem lateral – EPG. **Floresta**, v. 47, n. 1, 129-136, 2017.

CARVALHO, W.; CANILHA, L.; FERRAZ, A.; MILAGRES, A. M. F. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, v. 32, p. 2191-2195, 2009.

CASTRO, V. G. Compósito cimento-madeira: um produto sustentável para o futuro. Mossoró: **EDUFERSA**, 2021. 129p.

CASTRO, V. G. **Espécies da Amazônia na produção de compósitos madeira-cimento por vibro-compactação**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2015.

CASTRO, V. G.; BRAZ, R. L.; AZAMBUJA, R. R.; LOYOLA, P. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Painéis cimento-madeira de *Eucalyptus saligna* com diferentes aditivos químicos e métodos de formação. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 349-360, 2015.

CASTRO, V. G.; PARCHEN, C. F. A.; IWAKIRI, S. Produção de painéis cimento-madeira pelo método de vibro-compactação. **Ciência da madeira**, 9(3): 134-142, 2018.

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Condutas de Sustentabilidade no Setor Imobiliário Residencial**. São Paulo, 2011. 92 p. Disponível em: https://secovi.com.br/files/Arquivos/caderno-de-sustentabilidade---online.pdf. Acesso em: 18 de nov. 2024.

CECHINEL, M. A. P.; FELTRIN, N. Remoção de ferro de soluções aquosas utilizando casca de laranja liofilizada. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 4, p. e4211-e4211, 2024.

CETRIS. **CEMENT BONDED PARTICLEBOARD**. Nov. 2004. Disponível em: < https://www.cetris.cz/>. Acesso em: 02 de dez. 2024.

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage. CIE DS 014-4.3/E:2007: Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L*a*b* COLOUR SPACE [Internet]. 2007. Disponível em: https://www.unife.it/scienze/astro-fisica/insegnamenti/ottica-applicata/materiale-didattico/colorimetria/CIE%20DS%20014-4.3.pdf

COLLI, A.; VITAL, B. R. V.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L. LUCIA, R. M. D. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira paricá (*Schyzolobium amazonicum*) e fibra de coco verde (*Cocos nucifera*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 333-338, 2010.

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

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

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. L.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C.; SAVASTANO JÚNIOT, H. Painel aglomerado de resíduo agroindustrial. **Ciência Florestal**, v. 25, n.3, p.721-730, 2015.

CYPRIANO, D. Z.; SILVA, L. L.; MARINO, M. A.; *et al*. A biomassa da laranja e seus subprodutos. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, nov. 2016.

DIAS, L. C.; GUIMARÃES, D.; DIAS JÚNIOR, A. F.; OLIVEIRA, M. P. Technical Feasibility Study of Orange Wood Residues (*Citrus sinensis*) for Bioenergy Generation. **Energies**, v. 17, n. 12, p. 3056, 2024.

DONGRE, P.; DOIFODE, C.; CHOUDHARY, S.; SHARMA, N. Botanical description, Chemical composition, traditional uses and pharmacology of *Citrus sinensis*: An updated riview.Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine, v. 8, n. 13, p. 1, 2023.

DÜNDAR, A. N.; BÜYÜKARI, Ü. T. Classificação de espécies de árvores que crescem na Turquia em termos de algumas propriedades físico-mecânica. **Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University**, v. 66, n. 2, p. 727-735, 2016.

EMBRAPA. Mandioca e Fruticultura Tropical. Citros: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 219p., 2005.

EROMOSE, O. J. **Anatomical study of the trunk of *Citrus sinensis* with respect to vessels and rays**. European Journal of Botany, Plant Sciences and Phytology 3(3). 1 -9. 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 310**. Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 317**. Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira – Determinação do inchaço na espessura depois da imersão em água, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 319**. Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira – Determinação da força de tensão perpendicular sobre a superfície plana da placa, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 322**. Particleboards and fiberboards – Determination of humidity. Bruxelas: 2002.

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13354**: Solid wood panels (SWP) – Bonding quality – Test method. Brussels, 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-1** – Plywood – Bonding quality – Part 1: Test methods. Bruxelas, 2004).

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

EVANGELISTA, W. V. **Produtos florestais não madeireiros**: tecnologia, mercado, pesquisas e atualidades. Guarujá: Ed. Científica Digital, 2021. 407p.

FEITOZA, F. S.; GASPAROTTO, A. M. S. Um estudo sobre a produção nacional de suco de laranja concentrado. **Revista Interface Tecnológica**, v.17, n. 1, p. 625-634, 2010.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions.** Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter, 1989.

FERNANDES, B.; SILVA, V.; FARIA, P. Cement-wood boards with banana tree waste for buildings rehabilitation. **ENCORE**, 4° Encontro de conservação e reabilitação de edifícios, 2020.

FERRAZ, J. M.; DEL MENEZZI, C. H. TEXEIRA, D. E.; MARTINS, S. A. Effects of treatment of coir fiber and cement/fiber ratio on Properties of ciment-bonded composites. **BioResources**, v. 6, n. 3, p. 3481-3492, 2011.

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRETO, N. G.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; PALLONE, E. M. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyrethane adhesive: Na ecoefficient product. **Industrial Cropos and Products**, v. 40, p. 69-75, 2012.

FOELKEL, CEB. Celulose kraft de *Pinus* spp. **O papel**. ABCP, São Paulo, p. 46-67, 1976.

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

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2017. Disponível em:<http://www.fao.org/ faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 18 de nov. 2024.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: Forest Products Laboratory. Wood Handbook – Wood as na engineering material. Madison: USDA, 2010.

FUNDECITRUS. **CDA passa a emitir laudo de queima de planta**. Notícias Fundecitrus, ano IV, n° 19. março/abril 2013.

GAVA, G. C. **Avaliação da colagem em resíduos de madeira tratada de eucalipto.** Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Jerônimo Monteiro, 2014.

GIUDICE, L. V.; ZELENIUC, O. HIZIROGLU, S.; MARANO, C.; BRUNETTI, M.; BURATO, P.; AMINTI, G.; MACCHIONI, N.; TODARO, L. Characterization of particleboards produced with Orange tree (*Citrus sinensis* L.) and Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood material. **XIII Congresso Nazionale SISEF**, Orvieto (TR), 2022.

GIUDICE, V. Characterization of particleboards produced with Orange (*Citrus sinensis* L.) and Turkey oak (*Quercus cerris* L.) wood species using modified starch as adhesive. Tese (Doutorado em Agricultural, Forestry and Food Sciences, Curriculum Agricultural, Forest and Environmental Sciences) – Università Degli Studi della Basilicata, Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Potenza, 2022.

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.

GULER, C.; COPUR, Y.; TASCIOGLU, C. The manufacture of particleboards using mixture of peanut (*Arachis hypoqaea*) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. **Bioressource Techonology**, v. 99, p. 2893 – 2897, 2007.

GUTIÉRREZ-ACOSTA, J. M.; ORIHUELA-EQUIHUA, R., PINTOR-IBARRA, L. F. *et a*l. On the basic chemical composition of selected biomass types from four regions of Mexico, for bioenergetic purposes. **BioResources**, v. 16, n. 3, p. 5694, 2021.

HACHMI, M.; CAMPBELL, A. G. **Wood-cement chemical relationships**. In: Inorganic Bonded Wood and fiber composite materials. Session II: Raw Material Considerations. USA. VOL. I, 1989, p. 43-47.

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.

IAWA – INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. Listo f microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBÁ**. São Paulo, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. 2020. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas. Acesso em: 19 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção de laranja**. 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/pa. Acesso em: 01 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção de laranja**. 2023a. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br. Acesso em: 06 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção de laranja**. 2023b. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/pa. Acesso em: 04 nov. 2024.

IOZZI, M. A.; MARTINS, G. S.; MARTINS, M. A.; FERREIRA, F. C.; JOB, A. E.; MATTOSO, L. H. C. Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 25 – 32, 2010.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advence Climate Change Adaptation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 582 p. A special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IWAKIRI, S. *Eucaliptus grandis* Hill ex. Maiden como fonte de matéria-prima para produção de painéis à base de madeira. Relatório de pesquisa apresentado ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Curitiba, 2007.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba, PR: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v. 18, p. 68-74, 2008.

IWAKIRI, S.; SILVA, L. S.; TRIANOSKI, R.; BONDUELLE, G. M.; ROCHA, V. Y. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobeum amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para a produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v.18, n.2, p. 303 – 308, Lavras, jun, 2012.

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

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; FONTE, A. P. N da.; CEZIMBRA, D. J.; FOMIN, I. M.; MOLLEKEN, R. Potencial de uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis cimento-madeira. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 151-159, mar. 2017.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; FRANÇA, R. F.; GONÇALVES, T. A. P.; LOIOLA, P. L.; CAMPELO, S. R. F.; FARIAS, S. M. A. P. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira *Cryptomeria japônica* e *Sequoia sempervirens* com diferentes adesivos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 19-26, 2015.

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**, Lavras, v. 21, n.3, p. 457 – 463, 2015.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; WEBER, A. M.; BONFATTI JUNIOR, E. A.; PEREIRA, G. F.; BUENO, J. A.; CECHIN, L.; RAIA, R. Z. Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 289-296, 2017.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; ZUNTA, R. R.; PEREIRA, G. F.; ROSA, T. S. Evaluation of effects of adhedive, grammage and pressure on the quality of Edge EGP of *Eucalyptus badjensis*. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, e3437, 2021.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI. R. Painéis de madeira reconstituída. 2ª ed. Curitiba, PR: FUPEF, 2020. 259 p.

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

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.

JÚNIOR, S. H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. **Cemente and Concrete Composites**, v. 22, n. 25, p. 379-384, 2000.

KEFFER, J. F. **Viabilidade tecnológica de resíduos de madeiras tropicais provenientes de serrarias para produção de produtos de maior valor**

agregado. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2024.

KESIK, H. I.; OLGUN, Ç.; KAYMKCI, A.; ÇAGATAY, K. TOR, Ö Physical, Chemical and mechanical Properties of orange (*Citrus* X *sinensis* (L.) Osbeck) wood**. Conference Paper**. April, 2017.

KHAN, I. A. Citrus: genetics, breeding and biotechnology. Massachusetts, CABI, 2007. 384p.

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

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de** *Pinus maximinoi* **H. E. Moore**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2000.

KRAVETZ, C.; BRITO, J. O. Densidade Básica e Extrativos da Madeira de Laranjeira. **Anais do SIICUSP** 2014 – 22º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP, 2014.

LADANIYA, M. S. **Citrus fruit**: biology, technology and evaluation. Goa, Índia, 2ª ed. 2010.

LAHR, F. A. R.; SAVASTANO JUNIOR, H.; FIORELLI, J. (Org.). **Non-conventional Builging Materials based on agro-industrial wastes**. Bauru: Tiliform, 2015, p. 313-328.

LAMOUNIER, K. C. **Estudo dos polifenóis, atividade antioxidante e antimicrobiana da madeira e da casca** *Maclura tinctoria* **(L.) D. Don ex Steud.** Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2010.

LANGE, H.; SIMATUPANG, M. H.; NEUNAUER, A. Influence of latente hydraulic binders on the Properties of wood-cement composite. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session II: Raw material considerations. **Proceedings**... USA. V. 1, p. 48-52, 1989.

LANHE, D. G.; ISRAEL, C. L.; HAUPT, W. Improvement of gluing parameters in Edge Glued Pánel. Maderas. **Ciencia y tecnologia**, v. 26, n. 22, p. 1-12, 2024.

LATORRACA, J. V. de F. *Eucalyptus* **spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2000.

LATORRACA, J. V.; IWAKIRI, S.; LELIS, R. C. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 76 – 82, 1999.

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

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S.; LOMELÍ-RAMIREZ, M. G. Study of the interaction of Portland cement and Pinus wood for composites using Bragg sensors in optical fibers. **BioResources**, n. 10, v. 4, p. 6690-6704, 2015.

LIMAYEM, V.D. Interlocking of grain in Indian timbres. **Indian Forester**, v. 80, n. 1, p. 6-9, 1954.

LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRADE, B. J. M.; GIROTO, M.; FELIPE, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; BUENO, C. E. M. S.; SILVA, T. F.; LIMA, F. C. C. Importância econômica do citros no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 20, p. 1677-0293, 2011.

LOPES, Y. L. V. **Utilização da madeira e casca de** *Eucalyptus grandis* **Hill ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2004.

LUIZ, A. B. C. V.; WILLIAMS, S. C. Trunk xylem Anatomy of Mature Healthey and Blighted Graperfruit Trees on several Rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort.Sci*. 119(2): 185-194, 1994.

MACÊDO, A. N.; SOUZA, A. A. C.; NETO, B. B. P. Cement-wood particleboards made with waste from the Amazon timber industry. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 131-150, abr./jun. 2012.

Madeireiro-na-Amazonia-de-1980-a-2020.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

MARCARTI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira de angico vermelho** (*Piptadenia peregrina* Benth). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 94. 1992.

MARCHESAN, R.; ALMEIDA, V. C.; FRANÇA, M. C.; LOIOLA, P. L. Tecnologia de produtos florestais: pesquisas e desenvolvimento. Guarujá: Ed. **Científica Digital**, 2022. 144p.

MARCHESAN, R.; SILVA, R. C.; FONSECA, M. R.; SANTOS, M. C.; SARAIVA, K. F.; EUFRAZIO, T. P.; VIEIRA, G. H. C.; MENDES, J. G. N.; BARROS, A. O. R.; FORTES, R. A. Painel cimento-madeira produzido por compactação vibro dinâmica no sul do Tocantins. Doi: 10.37885/220207709, v. 1, 2022.

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

MARY, G. S.; SUGUMARAN, P.; NIVEDITHA, S. *et al*. Production, characterization and evaluation of biochar from pod (*Pisum sativum*), leaf (*Brassica oleracea*) and peel (*Citrus sinensis*) wastes. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 5, p. 43-53, 2016.

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**, v. 3, p. 695-705, 1990.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SANTANA, R. R. C.; PEDROSA, T. D.; Physical and mechanical properties of particleboard manufactured from wood, bamboo and rice husk. **Materials Research**, v. 17, n. 3, p. 1-5, 2014.

MENDES, L. M.; LOSCHI, F. A. P; PAULA, L.E. R.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MORI, F. A. Potencial de utilização da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* na produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v. 17, n. 1, p.69-75, 2011.

MENDES, R. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; CÉSAR, A. A.S. Efeito da incorporação da casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 610-617, 2010.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R. A. S.; SANTOS, R. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, 2010.

MININI, D. **Propriedades da madeira de desbastes de** *Khaya grandifoliola* **proveniente de quatro regiões climáticas do Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2024.

MÖLLEKEN, R. E. **Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

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.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and addtives on Wood – Portland Cement – Water Systems. **Wood and Fiber Science**, v. 15, n. 2, p. 164 – 176, 1983.

MUÑIZ, G. I. B.; CORADIN, V. R. **Normas de procedimentos em estudo de anatomia da Madeira:** I – Angiosperma, II – Gimnospermae. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais; 1991. (Série Técnica, n. 15).

NA, B.; WANG, Z.; WANG, H. Wood-cement compability reviem. **Wood Research**, v. 59, n. 5, pp. 813-826, 2014.

NASCIMENTO, K. K. R.; VIEIRA, F. F.; ALMEIDA, M. M. D. et al. Use of sweet 'Pêra'peel as an adsorbent in the treatment of textile effluents. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 716-722, 2019.

NAZERIAN, M.; GOZALI, E.; DAHMARDEH, M. The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement past and cement-bonded particleboards. **Journal of Applied Sciences**, Faisalabad, v. 11, n. 12, p. 2186-2192, 2011.

NICK, P. H.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. Tecnologia da madeira. Curitiba: UFPR, 1975. 216p.

NOGUEIRA, M. (Eds.) Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Jerônimo Monteiro: **Suprema**, 2007. p. 271-341.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R de; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. E. de; TEIXEIRA, D. E. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p. 451-457, 2004.

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

OSORIO, R. M. L.; LIMA, S. M. V.; SANT'ANNA, R. L.; CASTRO, A. M. G. Demandas tecnológicas da cadeira produtiva de laranja no Brasil. **Latin American Journal of Business Management**, v. 8, n. 2, p. 40-66, 2017.

PARÁ. **Decreto n° 1.943, de 21 de dezembro de 2017**. Cria os polos citrícolas do Estado do Pará e dispõe sobre a produção, a introdução e o comércio no Estado do Pará, de frutos, mudas, borbulhas ou qualquer outro material vegetativo do gênero Citrus, e dá outras providências correlatas. Belém. DOE-PA de 22/12/2017.

PETTERSEN, R. C. Chemical composition of wood. In: ROWELL, R. (Ed.) **The chemistry of solid wood**. Washington: Amercian Chemical Society, 1984. p. 54-126.

PIMENTAL, L. L. **Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de** *Pinus caribaea.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PINEDA-LOZANO, J. E.; FONSECA-BUSTOS, V.; MARTINEZ-MORENO, A. G.; VIRGEN-CARRILLO, C. A. The biological effect of orange (*Citrus sinensis* L.) byproducts on metabolic biomarkers: a systematic review. **Front. Sustain. Food syst**., v. 02, n. 6, 2022.

PIZZA, A. **Advanced wood adhesives technology**. Nova York: M. Dekker, 1994. 285 p.

POMARICO, F. A. **Potencial de utilização da madeira de clones de eucalito na produção de paineis cimento-madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Setor de Ciência e Tecnologia da Madeira, Lavras, 2007.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente** (Edge Glued Panels – EGP). Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2010.

PROVINCIANO, J.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Produção e caracterização de carvão de madeira de goiabeira, de laranjeira e de eucalipto. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 6, p. 125-128, 2014.

REIS, C. A.; MININI, D.; SILVA, E. L da; CADEMARTORI, P. H. G de; VIDAURRE, G. B.; MORRONE, S. R.; MUÑIZ, G. I. B. de; NISGOSKI, S. Comparative wood and charcoal anatomy of *Manilkara* sp.: contribution for market inspections. **Holzforschung**. 2024, 78, 503-518.

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.

RUTHES, H. C.; MORAIS, C. A. G.; CAMPOS, C. I.; CHRISTOFORO, A. L.; BERTOLINI, M. S. Physical-mechanical analysis of wood-cement composites and use of micromechanical models to predict their properties. **Revista Principia**, v. 59, n. 4. Doi: http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5517. 2022.

RUTIAGA-QUIÑONES, J. G.; PINTOR-IBARRA, L. F.; ORIHUELA-EQUIHUA, R.; GONZÁLEZ-ORTEGA, N.; RAMÍREZ-RAMÍREZ, M. A.; CARRILLO-PARRA, A.; CARRILLO-ÁVILA, N.; NAVARRETE-GARCÍA, M.A. RUIZ-AQUINO, F.; RANGEL-MÉNDEZ, J. R.; HERNÁNDEZ-SOLÍS, J.; LUJÁN-ÁLVAREZ, C. Characterization of Mexican waste biomass relative to energy generation. **BioResources**, v. 15, n. 4, p. 8529, 2020.

SÁ, V. A. de; MENDES, L. M.; COUTO, A. M.; LIMA, N. N. Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var *australis*) de diferentes procedências e idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 559-566, dez. 2010.

SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; ALBINO, V. C. S.; CORRÊA, A. A.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. Mistura de três espécies de reflorestamento n aprodução de painéis cimento-madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 549-557, 2012.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 241-250, 2008.

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

SCHNEIDER, H. The anatomy of *citrus*. In: W. Reuther, L. D. Batchelor, and H. J. Webber (eds.) *The Citrus industry*. v, 2. univ. Carlifonia Press, Berkeley, 1968.

SELBO, M. L. **Adhesive bonding of wood**. Technical Bulletin, n. 1512, 1975.

SICARI, V.; PELLICANÒ, A. M.; GIUFFRÈ, A. M.; ZAPPIA, C.; CAPOCASALE, M.; POIANA, M. Physical-chemical Properties and antioxidant capacities of grapefruit juice (*Citrus paradisi*) extracted from two diferente varieties. **Int. Food Res. J.,** v. 25, n. 5, p. 1978-1984, 2018.

SILVA, A. G.; BOIÇA JUNIOR, A. L.; FARIAS, P. R. S. Infestação da mosca-dos-citros em pomares de citros, em sistemas de plantio convencional e agroflorestal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 053-060, Mar. 2011.

SILVA, A. G.; BOIÇA JUNIOR, A. L.; FARIAS, P. R. S. Influência da temperatura e precipitação na infestação de mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi*) em plantios de citros. **Nucleus**, Ituterava, v. 8, n. 1, p. 53-60, 2011.

SILVA, E.; MARQUES, M.; JUNIOR, C. F. Application of coconut fiber in cementitious matrix. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v; 8, n. 8, p. 1555-1561, 2012.

SILVA, F. R. R.; PRESTES, C. S.; ALBUQUERQUE, E. M.; COSTA, A. T. S.; MESQUISTA, R. G. A. Propriedades físicas da madeira de laranjeira, *Citrus sinensis*. In: **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 2018, João Pessoa, PB.

SILVA, G. C.; LATORRACA, J. V. F.; LELIS, R. C. C.; TEIXEIRA, D. E.; CARMO, J. F.; FERREIRA, E. S. Produção de painéis de cimento-madeira com adição de diferentes proporções de casca de microssílica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 61-70, 2006.

SILVA, G. C.; LATORRACA, J. V. F.; TEIXEIRA, D. F.; BORBOLETO JÚNIOR, G. Produção de compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. **Scientia Forestalis,** Piracicava, n.68, p.59-67, 2005.

SILVA, J. P. G. dos S.; OLIVEIRA, P. C. de. Desempenho produtivo de frutas cítricas no polo citrícola do oeste paraense – Brasil, no período de 2005-2020. **Revista de Geografia,** v. 40, n.1, 2023.

SILVA, J.G.M.; VIDAURRE, G. B.; MININI, D.; OLIVEIRA, R. F.; ROCHA, S. M. G.; CONGALVES, F. G. Qualidade da madeira de mogno brasileiro plantado para a produção de serrados. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 1-12, 2019.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry fundamentals and applications**. New York. Academic Press, 1981. 223p.

SOUZA, A. A. C. **Utilização de resíduos da indústria madeireira para fabricação de chapas cimento-madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Setor de Construção Civil, Belém, 2006.

SOUZA, G. O. de. **Viabilidade técnica de espécies madeireiras da caatinga para a produção de painéis de madeira colada lateralmente**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Setor de Ciências Florestais, Macaíba, 2019.

SOUZA, G. O. S.; PIMENTA, S. A.; TRIANOSKI, R.; MELO, R. R.; AZEVEDO, T. K. B.; CASTRO, R. V. O. Production of edge glued panels with wood from three Brazilian dry forest tree species and five types of adhesives. **International Wood Products Journal**, v. 11, n. 2, p. 57-63, 2020.

SOUZA, M. J. C.; MELO, R. R.; GUIMARÃES, J. B.; CARNAVAL, T. K. B. de A.; PIMENTA, A. S.; MASCARENHAS. A. R. P. Wood–cement boards with addition of coconut husk. **Ciência e Engenharia de Materiais de Madeira**, 17 (6), 617–626. 2021. https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1914722.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 204 cm-97**. Solvente extractives of wood and pulp. Atlanta, 1997.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 207 cm-99**. Water solubility of wood and pulp. Atlanta, 1999.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 211 om-02**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard – combustion at 525°C. Atlanta, 2002.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 212 om-02**. One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Atlanta, 2002.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 257 cm-12**. Sampling and preparing wood for analysis. Atlanta, TAPPIPRESS, 2012.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 264 cm-02**. Preparation of wood for Chemical analysis. Atlanta, 1997.

TICHI, A. Hassanpoor; KHADEMIESLAM, Habibollah; DIVKOLAE, M. Rezanezhad. Evaluation of physical, anatomical, and biometric characteristics of *Citrus sinensis* trees in longitudinal and transverse axes of stem. **BioResources**, v. 15, n. 3, p. 5696, 2020.

TIENNE, D. L. C.; NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; SILVA, D. B. Qualidade de adesão em 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.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2012.

TSOUMIS, G. **Science and Tecnology of wood:** structure, properties, utilization. New York: Chapmam & Hall, 1991. 494 p.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Citrus: World Markets and Trade**. Jul, 2022. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/data/citrus-world-markets-and-trade. Acesso em: 18 de nov. 2024.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Citrus: World Markets and Trade**. Jul, 2024. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2024-07/citrus.pdf. Acesso em: 20 de nov, 2024.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **European Union: Citrus Annual**. Attaché Report (GAIN). Dez. 2020. Disponível em: < https://fas.usda.gov/data/european-union-citrus-an-nual >. Acesso em: 23 de dez. 2024.

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-

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécie do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VALE, A. T.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília – DF. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. In: Forest Products Laboratory. **Wood handbook**: wood as na engineering material. Relatório técnico geral FPL; GTR-113. Madison, WI: Departamento de Agricultura dos EUA, Serviço Florestal, Laboratório de Produtos Florestais, 1999.

VIDAL, M. de F. Citricultura: laranja. **Caderno Setorial ETENE**. Agropecuária. Ano 7, n° 241. 2022.

VIROC. **Características Viroc**. 2004. Disponível em: < https://www.investwood.pt/viroc/>. Acesso em: 02 de dez. 2024.

WANG, Y.; JI, S.; ZHANG, N.; CAO, C. Identification of phenolic compounds from a unique citrus species, finger lime (*Citrus australasica*) and their inhibition of LPS- induced NO-releasing in BV-2 cell line. **Food Chemical Toxicology,** v. 129, p. 54-63, 2019.

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

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.