

Fabricio Gomes Gonçalves
Organizador

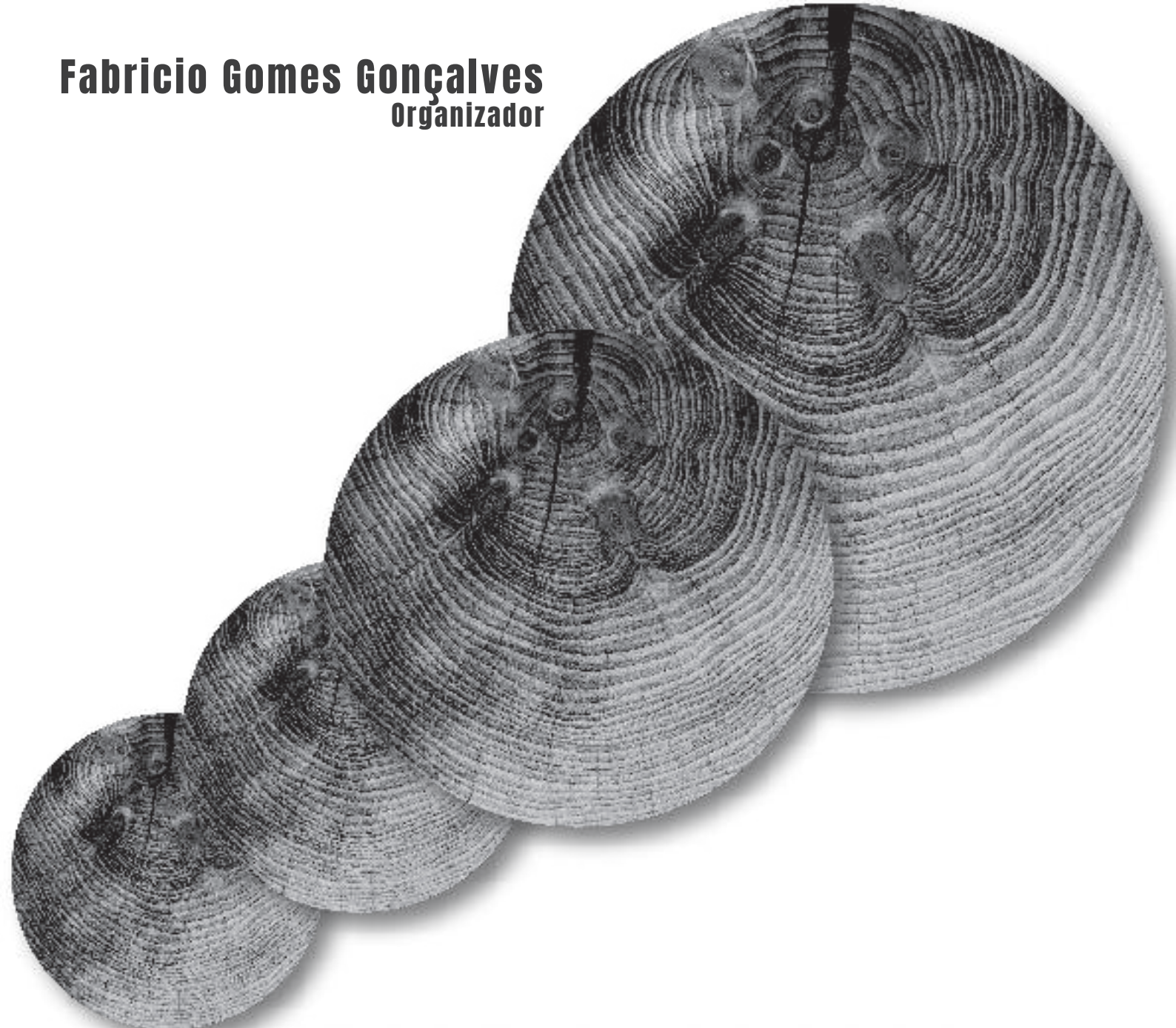
Four overlapping circular cross-sections of wood, showing concentric growth rings and knots, arranged diagonally from the top right towards the bottom left.

ENGENHARIA INDUSTRIAL
MADEIREIRA
TECNOLOGIA, PESQUISA E TENDÊNCIAS



editora científica

Fabricio Gomes Gonçalves
Organizador



ENGENHARIA INDUSTRIAL
MADEIREIRA
TECNOLOGIA, PESQUISA E TENDÊNCIAS

1ª EDIÇÃO
2020



editora científica



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia industrial madeireira [recurso eletrônico] : tecnologia, pesquisa e tendências / Organizador Fabricio Gomes Gonçalves. – Guarujá, SP: Científica Digital, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-87196-62-6

DOI 10.37885/978-65-87196-62-6

1. Indústria madeireira. 2. Engenharia florestal – Pesquisa – Brasil. 3. Tecnologia. I. Gonçalves, Fabricio Gomes.

CDD 338.47

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download e compartilhamento desde que os créditos sejam atribuídos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.



editora científica

EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA

Guarujá - São Paulo - Brasil

www.editoracientifica.org - contato@editoracientifica.org



editora científica

CONSELHO EDITORIAL

Editor Chefe

Reinaldo Cardoso

Editor Executivo

João Batista Quintela

Editor Científico

Prof. Dr. Robson José de Oliveira

Assistentes Editoriais

Elielson Ramos Jr.

Érica Braga Freire

Erick Braga Freire

Bianca Moreira

Sandra Cardoso

Arte e Diagramação

Andrewick França

Bruno Gogolla

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior - CRB6/2422

Jurídico

Dr. Alandelon Cardoso Lima - OAB/SP-307852

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Robson José de Oliveira - Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro - Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin - FSG Centro Universitário

Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke - Universidade Federal do Pampa

Prof. Me. Domingos Bombo Damião - Universidade Agostinho Neto, Angola

Prof. Dr. Edilson Coelho Sampaio - Universidade da Amazônia

Prof. Dr. Elson Ferreira Costa - Universidade do Estado Do Pará

Prof. Me. Reinaldo Eduardo da Silva Sale - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Patrício Francisco da Silva - Faculdade Pitágoras de Imperatriz

Prof. Me. Hudson Wallença Oliveira e Sousa - Instituto Nordeste de Educação Superior e Pós-Graduação

Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro - Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof^a. Dr^a. Dalízia Amaral Cruz - Universidade Federal do Pará

Prof^a. Ma. Susana Martins Jorge - Ferreira - Universidade de Évora, Portugal

Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves - Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Me. Erival Gonçalves Prata - Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Gevair Campos - Faculdade CNEC Unai

Prof. Esp. Flávio Aparecido de Almeida - Faculdade Unida de Vitória

Prof. Me. Mauro Vinicius Dutra Girão - Centro Universitário Inta

Prof. Esp. Clóvis Luciano Giacomet - Universidade Federal do Amapá

Prof^a. Dr^a. Giovanna Faria de Moraes - Universidade Federal de Uberlândia

Prof^a. Dr^a. Jocasta Lerner - Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho - Universidade Federal do Pará

Prof. Esp. Dennis Soares Leite - Universidade de São Paulo

Prof^a. Dr^a. Silvani Verruck - Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Me. Osvaldo Contador Junior - Faculdade de Tecnologia de Jahu

Prof^a. Dr^a. Claudia Maria Rinhel Silva - Universidade Paulista

Prof^a. Dr^a. Silvana Lima Vieira - Universidade do Estado da Bahia

Prof^a. Dr^a. Cristina Berger Fadel - Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a. Ma. Graciete Barros Silva - Universidade Estadual de Roraima

Prof. Dr. Carlos Roberto de Lima - Universidade Federal de Campina Grande

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Júlio Ribeiro - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista - Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado

Prof. Dr. Cristiano Souza Marins - Universidade Federal Fluminense

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva - Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória

Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr - Faculdades Integradas de Taquara

Prof. Me. Silvio Almeida Junior - Universidade de Franca

Prof^a. Ma. Juliana Campos Pinheiro - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Raimundo Nonato F. do Nascimento - Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Iramirton Figuerêdo Moreira - Universidade federal de Alagoas

Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago - Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Atibaia

Prof^a. Dra. Gracielle Teodora da Costa Pinto Coelho - Centro Universitário de Sete Lagoas

Prof^a. Ma. Vera Lúcia Ferreira - Centro Universitário de Sete Lagoas

Prof^a. Ma. Glória Maria de França - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof^a. Dra. Carla da Silva Sousa - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 11

ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE COSTANEIRAS DE CORYMBIA CITRIODORA COMO PAINÉIS EM MÓVEIS E COMPONENTES DECORATIVOS

Matheus Fernandes Lima; Mirna Mota Martins; Julia Cruz da Silva; Sandro Fábio Cesar; Rita Dione Araújo Cunha

DOI: 10.37885/201102054

CAPÍTULO 02 25

ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE VEDAÇÕES PARA SISTEMA CONSTRUTIVO DE MADEIRA

Silvia Betania Scali; Nilson Tadeu Mascia

DOI: 10.37885/201001767

CAPÍTULO 03 49

ANÁLISE DOS RESÍDUOS GERADOS POR INDÚSTRIAS DE BENEFICIAMENTO DE MADEIRA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Aline Lopes Gonçalves Porto; Alcebíades Negrão Macedo; Sidnei Silva e Silva; Enio Leite Cardoso

DOI: 10.37885/201102083

CAPÍTULO 04 58

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE MICROSCOPIA NA ANÁLISE DE PENETRAÇÃO ADESIVA EM LAMELAS DE VIGAS DE MLC COM MADEIRAS DE ALTA E BAIXA DENSIDADE

Raquel Schmitt Cavalheiro; Carlito Calil Junior

DOI: 10.37885/201001903

CAPÍTULO 05 71

CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DAS SERRARIAS DO MUNICÍPIO DE JUÍNA, ESTADO DE MATO GROSSO

Mainara Gonçalves Nogueira; Wescley Viana Evangelista

DOI: 10.37885/201102033

CAPÍTULO 06 100

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA-MECÂNICA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE CUMARU (*DIPTERYX ODORATA*)

Bárbara Branquinho Duarte; Francisco Antônio Rocco Lahr; Antônio Aprígio da Silva Curvelo

DOI: 10.37885/201102101

SUMÁRIO

CAPÍTULO 07 112

COLEOBROCAS EM NOGUEIRA-PECÃ NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Jardel Boscardin; Ervandil Corrêa Costa

DOI: 10.37885/201001794

CAPÍTULO 08 126

COMPORTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO LONGITUDINAL DA MASSA ESPECÍFICA E DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE ESPÉCIES NATIVAS FÍSICA DA MADEIRA; SENTIDO BASE-TOPO; ESPÉCIE NATIVA

Luana Candaten; Eduarda Bandeira; Tauana de Souza Mangini; Laura da Silva Zanchetta; Rômulo Trevisan; Jonathan Willian Trautenmüller; Elias Costa de Souza; Annie Karoline de Lima Cavalcante; Gabriel Takahashi Okabe; Luisa Gavaldon Pereira

DOI: 10.37885/201001788

CAPÍTULO 09 135

DESEMPENHO MECÂNICO DE PEÇAS COLADAS DE MADEIRA DE *PINUS ELLIOTTII* FRENTE AOS DIFERENTES PLANOS ANATÔMICOS

Ricardo Marques Barreiros; Mariana Macedo Lopes; Cristiane Inácio de Campos; Cantídio Fernando Gouvêa

DOI: 10.37885/201102081

CAPÍTULO 10 149

DUREZA JANKA COMO ESTIMADOR DA DENSIDADE E DAS RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO EM MADEIRAS

Takashi Yojo; Cassiano Oliveira de Souza; Maria José de Andrade Casimiro Miranda; Sérgio Brazolin

DOI: 10.37885/201102068

CAPÍTULO 11 158

ESTUDO COMPARATIVO DE MAPLE (*ACER SACCHARUM*) E PAU-MARFIM (*BALFOURODENDRON RIEDELIANUM*) PARA CONFEÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS

Atny Miho Saito; Gabriela Bertoni Belini; Erick Phelipe Amorim; Franciane Andrade de Pádua

DOI: 10.37885/201102103

CAPÍTULO 12 172

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONECTORES METÁLICOS EN VIGAS MIXTAS DE MADERA Y CONCRETO

Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho; Adair José Regazzi; Marcos Oliveira de Paula; José Antonio Matthiesen; Fabricio Gomes Gonçalves; Maximiliano Arredondo Ramirez

DOI: 10.37885/201102041

SUMÁRIO

CAPÍTULO 13 187

"FLUXO RADIAL DE PRESERVATIVO CCA EM MADEIRAS DE EUCALIPTO"

Wescley Viana Evangelista; José de Castro Silva

DOI: 10.37885/201102121

CAPÍTULO 14 203

GEOMETRIA DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS EM COMPÓSITOS AGLOMERADOS

Fabricio Gomes Gonçalves; Yonny Martinez Lopez; Izabella Luzia Silva Chaves; Rafael Gonçalves Espósito de Oliveira; Alice Soares Brito; Félix Queiroz de Jesus; Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho; Rhagnya Sharon Ferreira Martins

DOI: 10.37885/201102109

CAPÍTULO 15 219

NANOPARTÍCULAS DE LIGNINA E SEUS EFEITOS NAS PROPRIEDADES DO ADESIVO UREIA-FORMALDEÍDO PARA COLAGEM DE MADEIRA

Thamirys Andrade Lopes; Nayara Franzini Lopes; Gabriel Reis Portilho; Frances Alves Andrade; Luana Bertolini de Jesus Silva; Renato Vinícius Oliveira Castro; Gustavo Henrique Denzin Tonoli; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro

DOI: 10.37885/201102049

CAPÍTULO 16 243

PAINÉIS LVL DE GUAPURUVU (*SCHIZOLOBIUM PARAHYBA* (VELL.) BLAKE)

Julia Carolina **Athanázio**-Heliodoro; Hernando Alfonso **Lara**-Palma; Adriano Wagner Ballarin

DOI: 10.37885/201001826

CAPÍTULO 17 254

PERFORMANCE OF A SMALL EUCALYPT LOG SAWMILL: WORK PRODUCTIVITY, OPERATIONAL EFFICIENCY AND LUMBER YIELD

Fernando Moreli Salvador; Felipe da Silva Gomes; João Gabriel Missia da Silva; Djeison Cesar Batista

DOI: 10.37885/201102011

CAPÍTULO 18 267

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DO *EUCALYPTUS BENTHAMII* MAIDEN ET CABBAGE

Luciano Farinha Watzlawick; Francielle Brandalise Wionzek; Saulo Vinicius Küster da Silva; Cristiane Carla Benin

DOI: 10.37885/201101958

SUMÁRIO

CAPÍTULO 19 286

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE *ORMOSIA PARAENSIS* DUCKE PROVENIENTE DE LA AMAZONÍA SURORIENTAL DEL PERÚ

Leif Armando **Portal** Cahuana; Jannet Marina **Carpio** Arana; Giancarlo Sinbad **Díaz** Vela

DOI: 10.37885/201101950

CAPÍTULO 20 305

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE SETE ESPÉCIES PROVENIENTES DA ARBORIZAÇÃO URBANA

Debora Klingenberg; Adriana Maria Nolasco; Ananias Francisco Dias Júnior; Elias Costa de Souza

DOI: 10.37885/201101966

CAPÍTULO 21 317

RESISTÊNCIA DE EMBUTIMENTO EM AMOSTRAS PADRONIZADAS DE MADEIRA SEGUNDO AS NORMAS BRASILEIRA, EUROPEIA E AMERICANA

Julio Cesar Molina; Amauri da Silva Ribas Junior

DOI: 10.37885/201001793

CAPÍTULO 22 330

RESISTÊNCIA DE LIGAÇÕES CAVILHADAS APLICANDO O MÉTODO REVISADO DE ENSAIO DE LIGAÇÕES MECÂNICAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Marcos Cesar de Moraes Pereira; Carlito Calil Junior

DOI: 10.37885/201001784

CAPÍTULO 23 343

SISTEMA ESTRUTURAL EM MADEIRA DE REFLORESTAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE PASSARELA MODULAR EM TRILHA ECOLÓGICA NO JARDIM BOTÂNICO DE BAURU, SP.

Tomás Queiroz Ferreira Barata; Pedro Alexandre Aniceto; Luttgardes de Oliveira Neto; Miguel Mbona Paulo

DOI: 10.37885/201102079

SOBRE O ORGANIZADOR..... 365

ÍNDICE REMISSIVO 366

“

Alternativas para aproveitamento de costaneiras de *Corymbia citriodora* como painéis em móveis e componentes decorativos

┆ Matheus Fernandes **Lima**
UFBA

┆ Mirna Mota **Martins**
UFBA

┆ Julia Cruz da **Silva**
UFBA

┆ Sandro Fábio **Cesar**
UFBA

┆ Rita Dione Araújo **Cunha**
UFBA

RESUMO

Dentro do processo produtivo de madeira sólida de *Corymbia citriodora*, as etapas de serragem produzem um subproduto denominado de costaneira e caracterizado como resíduo. O destino da costaneira, de modo geral, é o descarte, quando não relegada como lenha para queima em olarias, padarias e outros como trituração para fabricação de briquetes. De todo modo, as peças de costaneira possuem um baixo valor agregado em relação aos demais produtos oriundos da serragem de *Corymbia citriodora*. O volume de resíduo de costaneiras é muito grande em relação ao volume do tronco, o que torna um desafio a transformação da costaneira num produto de maior valor agregado para combater o desperdício de madeira. Este trabalho objetivou estudar o aproveitamento de peças de costaneira para a composição de painéis, visando o seu emprego em componentes decorativos e mobiliário. A partir do levantamento dos defeitos de formação natural da madeira e decorrentes da secagem, foram estudados cortes de costaneira com o intuito de aumentar o aproveitamento do tronco e, com isso, reduzir o volume de resíduo gerado. Em seguida, realizaram-se composições com os segmentos cortados, tendo em vista a criação de painéis para serem aplicados como forros, pisos, revestimentos de paredes e como chapas para produção de mobiliário. Os painéis produzidos atenderam ao objetivo proposto e podem representar uma alternativa de aplicação para o material em questão, contribuindo para reduzir o seu descarte.

Palavras-chave: Aproveitamento de Costaneira, *Corymbia Citriodora*, Resíduo de Madeira, Painéis de Madeira.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos na indústria madeireira é um tema que precisa ser discutido na busca por uma maior redução no desperdício e no impacto ambiental causado. O resíduo é considerado como algo que não tem valor diante dos demais produtos obtidos com valor comercial, sendo assim descartado. Na indústria madeireira, todo material gerado do processamento da madeira e que não é utilizado na produção do produto final é considerado resíduo.

Os estudos sobre rendimento no processamento de madeira no Brasil apontam para uma geração de resíduos que comumente varia de 20% a 40% (FINOTTI et al., 2006), podendo ultrapassar os 50%, no caso do eucalipto (BARATA et al., 2016). Assim, mesmo no melhor cenário indicado pelos estudos, de 80% de aproveitamento da tora, existe a perda de uma tora inteira, na forma de resíduos, para cada cinco que passam pelo processamento na indústria. Segundo Cerqueira et al. (2012), em estudo realizado na cidade de Eunápolis, no interior da Bahia, a maior parte do resíduo gerado na indústria local (55%), cuja matéria prima utilizada é o eucalipto, é vendida para fins energéticos, enquanto 24% é destinada à doação ou descarte e apenas 2% é utilizada na confecção de novos produtos. De modo geral, o principal destino dos resíduos de madeira no Brasil é mesmo a geração de energia, como também afirmam Hilling et al. (2006), sendo a produção de novos objetos com este material ainda muito incipiente.

Esse cenário reforça a necessidade de se fomentar o uso dos resíduos, através da criação de novas possibilidades de usos para este tipo de material, inclusive dentro das próprias serrarias, que possam despertar o interesse do mercado. A utilização de resíduos de madeira a partir de sua reinserção no processo produtivo encontra respaldo nos campos ambiental, econômico e social, como elucida César et al. (2010).

A busca de alternativas para agregação de valor aos resíduos do tipo costaneira torna-se relevante pelo seu potencial estético principalmente para indústria de móveis e de componentes de painéis para decoração de interiores em projetos de arquitetura. Isto incrementaria um nicho de mercado para transformar a costaneira num subproduto de linhas de produção e não mais descartá-la como resíduo simplesmente.

Em relação à madeira, Fagundes (2003) classifica os diferentes tipos de resíduos como: cascas, o revestimento externo das toras; destopos (ou cavacos), sobras referentes à uniformização dos comprimentos das peças; costaneiras, peças externas da tora resultantes do processamento primário da madeira; serragem, resíduo gerado pelo atrito da serra com a madeira, na forma de pó; maravalha, resíduo de aplainamento de faces da madeira. Em termos de volume, os resíduos mais significativos são a serragem e a lenha (composta por costaneiras e cavacos), respectivamente na ordem de 36% e 25% do volume total de resíduos (CERQUEIRA et al., 2012).

Diversos trabalhos sobre aproveitamento de resíduos para elaboração de produtos já foram realizados, produzindo mobiliário, painéis de madeira aglomerada, painéis para divisórias e painéis decorativos (CHAHUD et al., 2012; CÉSAR et al., 2012; ARAÚJO et al., 2015). Nesses estudos, o aproveitamento se dava com sobras de peças, resíduos de podas de árvores e resíduos de produção de serrarias e de produção de cruzetas, demonstrando a necessidade de minorar o descarte e a importância de reciclar o resíduo e transformá-lo em matéria prima para novos produtos. Em muitas destas experiências, uma forma de elevar o valor agregado ao resíduo era aproveitar peças com defeitos e valorizar os defeitos naturais ou de secagem da madeira como um aspecto estético aceitável a depender do produto final, como também se dá neste trabalho em particular.

Os defeitos são características naturais ou decorrentes da manipulação da madeira que podem alterar negativamente suas propriedades físicas e mecânicas, sendo considerados um problema na produção de muitos produtos, principalmente com função estrutural. De acordo com Calil Junior et al (S/D) a classificação de defeitos pode ser realizada de maneira visual, podendo ser de origem anatômica, por ataque biológico, decorrentes de processos de secagem ou resultantes do processamento da madeira.

Entre os defeitos naturais, estão os nós (relativos aos núcleos aparentes dos locais onde se desenvolviam ramos ou galhos da árvore) e as bolsas de resina (formações anelares anormais na madeira que provocam descontinuidade no lenho), (REMADE, 2001). São muito comuns em espécies de reflorestamento como a *Corymbia citriodora*. Os defeitos por ataque biológico são originados pela ação de fungos, resultando em manchas e podridão ou de insetos xilófagos, resultando em perfurações e galerias internas nas madeiras. No entanto, neste trabalho peças atacadas por agentes biológicos foram descartadas.

Já os defeitos como empenamentos e rachaduras surgem como consequência de secagem inadequada. As peças com rachaduras e pequenos empenamentos foram aceitas no processo de seleção das costaneiras usadas na confecção dos painéis. Os defeitos resultantes do processamento da madeira decorrem da manipulação ou desdobro da madeira. No caso específico das costaneiras estudadas, foram observadas apenas pequenas marcas resultantes de danos no processo da serragem primária das toras que lhe deram origem.

Visando à redução do desperdício, é importante dar maior atenção aos defeitos, explorando suas possibilidades de uso para produtos específicos, onde seus efeitos adversos não sejam prejudiciais. Com o devido tratamento, os defeitos podem ser utilizados inclusive para valorizar produtos, como demonstrou Araújo et al. (2015) ao abordar a perspectiva estética proporcionada pela presença de nós e rachaduras no desenvolvimento de painéis, obtendo resultados satisfatórios. Neste trabalho também foram considerados os defeitos naturais como nós e bolsas de resina e as rachaduras provenientes do processo de secagem da espécie *Corymbia citriodora*, uma vez que a proposta do produto final desenvolvido não tem propósitos estruturais, mas somente decorativos ou compositivos para móveis.

OBJETIVO

Incrementar as alternativas de aplicação de peças de costaneira da *Corymbia citriodora* através da elaboração de produtos que possam utilizar o seu potencial estético, principalmente na forma de painéis para componentes decorativos e móveis a fim de agregar valor ao resíduo da costaneira, transformando-o num subproduto com potencialidade comercial.

MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em função da elaboração de possibilidades de uso para os resíduos do tipo costaneira de *Corymbia citriodora*. Conhecendo-se previamente as características gerais que este tipo de material apresenta, relacionadas à predominância de alburno e decorrentes do processamento, que são o grande número de defeitos (rachaduras e nós) e a variabilidade de textura e de cor, entre outras, decidiu-se pela elaboração de produtos do tipo painel. Os painéis foram pensados como composições de peças aparelhadas, feitas com as costaneiras, coladas em uma chapa estruturante de madeira compensada, com o intuito de minimizar os efeitos negativos provocados pelos defeitos, relacionados principalmente à deformação e consequente danificação de produtos. Utilizou-se o defeito aqui de forma positiva como partido estético. Assim, a proposta de uso para as costaneiras neste trabalho foi relativa a painéis para componentes decorativos e móveis. Para iniciar uma definição acerca das composições, no que diz respeito a dimensões e disposições espaciais, foi primeiro necessário analisar em específico a matéria-prima, entendendo suas particularidades.

Identificação das Costaneiras

As costaneiras usadas neste trabalho originaram-se de peças roliças de *Corymbia citriodora* empregadas em outras experiências desenvolvidas no Laboratório de Madeiras da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Tratavam-se, portanto, de resíduos gerados das citadas peças que, por sua vez, provinham de árvores jovens, com cerca de 7 anos de idade. Todo material das costaneiras apresentava defeitos, os principais sendo rachaduras, nós e bolsas de resina, oriundos tanto de formação natural quanto de secagem. Para a elaboração dos estudos, foram escolhidas 15 costaneiras, compondo um lote, com características visuais diversas, respeitando, contudo, um critério mínimo de seleção que excluía unidades atacadas por agentes biológicos ou com grau avançado de degradação física. Desse modo, foram escolhidas costaneiras que apresentaram defeitos visíveis, pois, entendendo-se que esta é uma característica própria de resíduos e que estava fortemente

presente nas costaneiras, sua exclusão reduziria o aproveitamento da madeira e iria de encontro à proposição inicial do trabalho.

Observa-se que a costaneira é um resíduo caracterizado por um lado côncavo e outro plano, e a sua seção em forma de meia lua não é regular, apresentando algumas peças mais volume de madeira e outras menos, a depender de como foi cortada a peça que lhes deu origem. Também sendo proveniente de peças roliças, e observando o aspecto da conicidade do tronco, a costaneira apresenta sempre uma extremidade mais grossa do que a outra, que neste trabalho foi denominada de base (a extremidade mais larga) e de topo (a extremidade menos larga). A foto A da Figura 1 mostra uma das costaneiras selecionadas no estudo e exemplifica a presença de defeitos na madeira.

Figura 1. Superfície e seção de uma das costaneiras selecionadas



A - Superfície plana da costaneira



B - Seção de base da costaneira 12

Junto à seleção da matéria-prima, foi realizada a identificação de cada costaneira a partir de numeração, de 1 a 15, marcadas nas seções de topo, identificadas com a letra A, e nas seções de base, identificadas com a letra B, como ilustra a foto B da Figura 1.

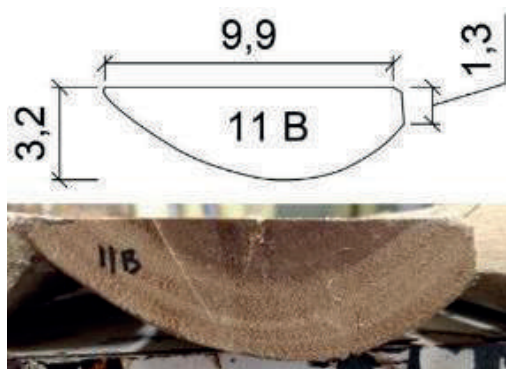
Em simultâneo, foram medidas a altura e a largura de cada seção, o que evidenciou uma variação dimensional entre as peças do lote. A diferença entre a maior e a menor largura foi de 1,5 cm, para o topo, e de 2,3 cm, para a base, já entre as alturas foi de 1,3 cm, para o topo, e de 1,9 cm para a base. Para as peças individualmente, uma diferença de quase 0,5 cm é verificada entre base e topo na largura, enquanto que, para a altura, a diferença é de mais de 0,6 cm, em média. Em virtude da heterogeneidade verificada, e visando a trabalhabilidade no processamento das peças para os painéis, fez-se necessário um estudo mais acurado de dimensões que viabilizasse a produção de peças no referido lote.

Estudo do conceito dos painéis

Para o estudo de elaboração das peças, foram tiradas fotografias da base e do topo de todas as costaneiras que, em consonância com as medições realizadas anteriormente, serviram de referencial para a construção de representações gráficas das seções das peças. Utilizou-se o software AutoCAD 2017 para a realização dos desenhos, obtidos a partir da sobreposição do traço vetorial do programa sobre a fotografia digital das peças, com escala referenciada nas medições prévias. Assim, foi possível catalogar, com boa aproximação (no

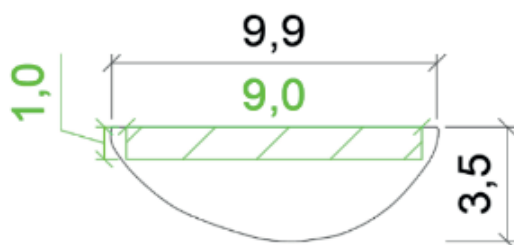
máximo, 1 mm de diferença entre medição e desenho), as seções de topo e base de todas as costaneiras do lote num ambiente virtual, que proporciona um estudo mais irrestrito, a partir da manipulação livre dos elementos. A Figura 2 exemplifica o resultado do processo, em comparação à fotografia original, para a peça 11, seção de base.

Figura 2. Comparativo entre a catalogação digital e a fotografia para a seção 11B



Com o levantamento gráfico das seções de todas as costaneiras, elaborou-se o estudo para definir as peças a serem produzidas. Os testes foram realizados de forma manual, a partir da verificação de compatibilidade entre seções com larguras diversas em função da espessura de 1 cm, estipulada como adequada para a produção dos produtos almejados, e as seções das costaneiras, como ilustra a Figura 3, onde, em verde, está a seção a ser extraída.

Figura 3. Verificação da compatibilidade de seções



O estudo indicou a largura de 7,5 cm como possível de ser extraída de todas as unidades do lote, para a espessura de 1 cm, e foi adotada como ponto de partida para a idealização das peças. A necessidade de se trabalhar com uma mesma seção padrão parte da praticidade no corte, pensando num possível processo produtivo/industrializado. Assim, partindo da seção máxima de 7,5 cm x 1 cm, o estudo seguiu para uma análise estética sobre modulações e composições possíveis. Nesta etapa, foi utilizado o software Sketchup para a elaboração das composições em 3D, em virtude da possibilidade de aplicações em ambientes e produtos desenvolvidos no próprio programa, que permite uma melhor avaliação das peças. Alguns protótipos foram desenvolvidos, de forma livre, antes da definição das dimensões, com base em produtos bem conhecidos de mercado (pisos de parquet, tacos e painéis de parede, de modo geral), como o exemplo ilustrado na Figura 4 (para parquet e

taco). As cores e texturas foram obtidas a partir das fotografias das peças, sendo, portanto, do próprio lote selecionado, como forma de melhor avaliar as possibilidades virtualmente.

Figura 4. Duas das composições propostas em software



Uma das principais características visuais verificáveis nos modelos conceituais deveu-se ao uso dos defeitos da madeira nas composições. Os protótipos permitiram uma definição das dimensões a serem adotadas, em função da avaliação visual, que considerou a proporção, a cor e a textura, elementos fundamentais na aceitação de um produto pelo consumidor. Então, foram estipuladas três seções básicas para modulação: 7,5 cm x 1 cm; 5 cm x 1 cm; e 4 cm x 1 cm. Os módulos constituíram-se de comprimentos obtidos a partir de variações da largura em proporções de uma, duas ou três vezes, a exemplo: 7,5 cm x 7,5 x 1 cm; 5 cm x 10 x 1 cm; 4 cm x 12 x 1 cm. Assim, para um mesmo módulo, houve a possibilidade de mais de uma composição, como ilustra Figura 5. Nesta etapa do estudo, foram adicionadas aos modelos digitais as chapas de estruturação, como previstas inicialmente.

Figura 5. Três exemplos de composições com peças de 7,5 cm x 15 cm



A partir deste estudo, elaborou-se a Tabela 1, apresentando as peças discriminadas por seção, bem como os valores de comprimento total necessário para sua produção.

Tabela 1. Quantitativo de peças a serem produzidas

Seção	Largura (cm)	7,5			5		4		Total	
	Comprimento (cm)	7,5	15	22,5	5	10	15	8		12
Quantidade (um.)		32	60	36	32	48	36	18	27	289
Comprimento Total (cm)		240	900	810	160	480	540	144	324	3598

Adesivo e chapa

Finalizada a determinação das peças, iniciaram-se os estudos para escolha dos demais elementos envolvidos na produção dos painéis, entre eles a chapa de estruturação e a cola. A chapa de estruturação foi adotada em compensado naval, por apresentar resistência à umidade (característica fundamental para aumentar a aplicabilidade dos produtos), cujas dimensões de mercado são 2,20 m x 1,60 m, e espessuras disponíveis de 10 mm, 15 mm, 18 mm e 20 mm, dentre outras. Foi escolhida a chapa de 10 mm em razão de sua proximidade dimensional com as peças (ambas possuem 1 cm de espessura). Para os painéis previstos na pesquisa, que somaram 21 unidades, era necessária uma área de compensado naval para a sua estruturação de 2,87 m². Assim, foi adquirida uma única chapa de compensado naval, encontrada no mercado com 3,52 m².

Em seguida, partiu-se para a escolha da cola. Assim como no caso da chapa, a resistência à umidade foi um dos principais fatores a serem considerados, ao lado de rendimento, resistência do adesivo e expansividade. Com base num levantamento de mercado, a cola PU Tec da Mastertec foi escolhida por ser descrita como a prova d'água, não-expansiva e apresentar bom rendimento. Um balde de cola PU Tec foi suficiente para o estudo, uma vez que seu rendimento previsto era de 4,17 m².

Produção dos painéis

A produção dos painéis ocorreu conforme as etapas:

1ª Etapa – Segmentação da costaneira em três peças para pesagem e trabalhabilidade – As costaneiras utilizadas apresentavam por volta de 2,50 m de comprimento. Com o intuito de possibilitar uma melhor trabalhabilidade das peças no local de produção e reduzir a influência do empenamento longitudinal, todas as costaneiras foram seccionadas em três partes aproximadamente iguais, com mais ou menos 83 cm cada.

2ª Etapa – Desempeno dos segmentos – Foi realizado o desempeno no lado plano dos três segmentos obtidos com o objetivo de nivelá-los, resultando em uma face longitudinal uniforme que pôde ser utilizada como referência para os cortes subsequentes.

3ª Etapa – Corte dos segmentos para obtenção da largura de 8,5 cm – Os segmentos foram cortados em função da largura máxima estipulada nos estudos prévios, de 7,5 cm.

Visando o aparelhamento futuro, foi estabelecida uma folga de 1 cm nesta dimensão, o que acarretou uma largura de 8,5 cm para o corte. Visto que a menor largura dentre as costaneiras selecionadas era exatamente de 8,5 cm, todos os segmentos puderam ser produzidos dentro do estabelecido. Esta etapa gerou subprodutos classificados neste estudo como ripas (taliscas), passíveis de futuro aproveitamento, e serragem.

4ª Etapa – Corte dos segmentos para obtenção da espessura de 1,5 cm – Os segmentos da etapa anterior foram serrados a 1,5 cm da face plana para posterior aparelhagem acurada à espessura de 1 cm, determinada nos estudos precedentes para as peças. Nesta etapa obteve-se além de serragem um subproduto também do tipo costaneira, nomeado neste trabalho como costaneira 2, que poderá ser utilizado posteriormente em outros estudos de aproveitamento.

5ª Etapa – Desbaste das peças para obtenção de 1 cm de espessura – Esta etapa consistiu em aparelhar os segmentos para a sua espessura final, determinada em 1 cm nos estudos anteriores. O principal resíduo desta etapa foi a maravalha.

6ª Etapa – Corte dos segmentos para obtenção do comprimento da peça – A última etapa ocorreu após a análise dos segmentos, quando se verificou a viabilidade de uso de cada um para a produção das peças estipuladas, conforme a Figura 6. Por exemplo, a presença de uma rachadura longitudinal com 10 cm de extensão poderia acarretar no seccionamento de uma peça de 7,5 x 7,5 cm no ato do corte, originando duas peças com mesmo comprimento e espessura, mas larguras indesejadas. No entanto, esse mesmo segmento com uma rachadura de 10 cm de extensão pode ser viável para o corte de peças menores como, por exemplo, aquelas para composição de parquets.

Figura 6. Fotografias de peças obtidas nas diferentes etapas de produção



Etapa 4



Etapa 5



Etapa 6

7ª Etapa – Produção dos painéis – Terminado o corte das peças, deu-se prosseguimento à produção dos painéis. O compensado naval foi cortado em chapas menores, de acordo com o planejamento prévio, e as peças coladas.

RESULTADOS

Neste trabalho, foram produzidos 21 painéis distintos, dos quais apresentam-se seis exemplos de composição na Figura 7. A grande variação de cores aliadas a defeitos e texturas dos painéis produzidos está associada ao número de costaneiras utilizadas como matéria prima que proporcionou uma maior combinação de diferentes características nas composições, indo além das simulações realizadas em software. Também o objetivo de aumentar a variação dimensional das peças compositivas dos painéis contribuiu fundamentalmente para lhes agregar valor estético através da dinamização das composições.

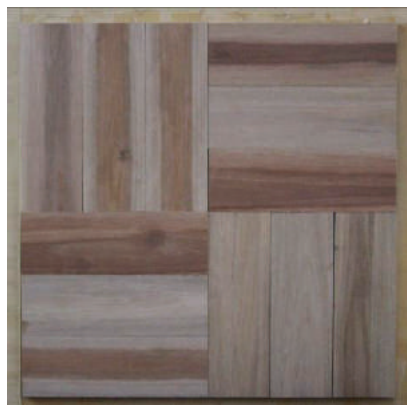
Figura 7. Exemplos de alguns dos painéis produzidos



(a) Composição com peças de 7,5 cm x 15 cm



(b) Composição com peças de 7,5 cm x 7,5 cm



(c) Composição com peças de 7,5 cm x 22,5 cm



(d) Composição com peças de 5 cm x 10 cm



(e) Composição com peças de 5 cm x 10 cm



(f) Composição com peças de 5 cm x 15 cm

Os painéis apresentados nas figuras 7(a), 7(b) e 7(c) são quadrados, sendo o primeiro de 30 cm x 30 cm e com 8 peças, o segundo também de 30 cm x 30 cm, mas com 16 peças, e o último com 45 cm x 45 cm e 12 peças. Os painéis de mesma dimensão exemplificam a possibilidade de se obter diferentes padrões estéticos para um mesmo espaço, alterando-se a dimensão das peças, a disposição da composição e escolha de cor e texturas. No caso da figura 7(a), existe uma simetria pelo eixo horizontal, que é dinamizada pela alternância entre as tonalidades clara e escura das peças, agrupadas em pares. Na figura 7(b), a dinamização ocorre pela alternância do sentido da fibra das peças, uma a uma, mantendo uma tonalidade mais homogênea em torno do cinza e marrom claro. Em ambos os casos, a presença de nós é marcante nas composições. Já na figura 7(c), buscou-se peças com texturas mais próximas, com poucos nós marcantes e variação de cor tendendo ao vermelho, ao passo que a disposição é simétrica diagonalmente.

Os demais painéis, representados pelas figuras 7(d), 7(e) e 7(f), são retangulares, sendo os dois primeiros de 30 cm x 20 cm e 12 peças e o último de 45 cm x 30 cm e 19 peças. De forma análoga ao que foi observado anteriormente, os painéis de igual dimensão puderam apresentar diferente padrão estético, sobretudo por causa da variação de tonalidade e textura, neste caso. O painel apresentado na figura 7(d) retoma a simetria no eixo horizontal vista em 7(a), mas com uma proposta mais homogênea, deixando o destaque para as peças centrais, cuja tonalidade destoam das demais. Já o painel na figura 7(e) possui uma gama de tons mais diversa, bem como presença de nós e rachaduras bem acentuadas, o que garante uma dinâmica ainda maior à disposição proposta. O painel restante, apresentado pela figura 7(f), apresenta uma disposição linear que poderia se tornar monótona, não fosse a adoção da variação de cor para as peças.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos atenderam às expectativas estéticas decorrentes das simulações em software, superando-as em termos de diversidade. O uso dos defeitos presentes nas costaneiras, aliados à variação de cor e textura que apresentam, possibilitou a produção de peças únicas. Essas peças garantiram um novo aspecto às composições já tradicionais no mercado, gerando painéis de revestimento com grande potencialidade de aplicações, como em pisos, móveis e painéis de parede, devido a seu apelo estético que pode ser considerado rústico ou mesmo exótico.

O painel apresentado na figura 7(f), por exemplo, demonstra que, mesmo a disposição linear das peças, embora mais comum e assemelhada a produtos já existentes no mercado, pode se destacar esteticamente pela movimentação promovida pela dinâmica das cores emprestadas pelas peças de 5 cm x 15 cm individualmente. Isto foi observado em outros

modelos de painéis executados, reforçando que o uso dos resíduos possibilita atribuir uma autenticidade a produtos tradicionais, sem impactar ainda mais o ambiente por empregar materiais que seriam possivelmente descartados.

Em termos de execução, os painéis compostos por peças de 5 cm x 5 cm apresentaram dificuldades de trabalhabilidade tanto nos cortes, como na montagem e colagem dos componentes. Alguns destas peças racharam por completo no ato do corte, exigindo descarte. Porém, esses painéis conseguiram aglomerar uma maior quantidade de características estéticas, englobando cores e texturas diferentes, além dos defeitos propositalmente incorporados, justamente pela possibilidade de incluir maior diversidade de matéria prima em uma só composição.

CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os materiais considerados resíduos de madeira podem apresentar grande potencial de uso com planejamento, criatividade e esforço adequados. É importante explorar cada vez mais esse potencial com o intuito de combater o desperdício de madeira e a degradação ambiental que dela pode decorrer, além de fomentar econômica e socialmente a produção madeireira, tanto na grande indústria quanto na manufatura.

Neste trabalho, foram produzidos 21 painéis distintos utilizando como principal matéria-prima a costaneira, um resíduo de madeira, da *Corymbia citriodora*. A metodologia empregada visou elaborar peças que pudessem ser extraídas de todo o lote selecionado e valorizar as características particulares do material, colocando-as em lugar de destaque como atrativo visual para os produtos, buscando afastá-las do aspecto negativo de resíduo. O emprego da costaneira como painéis foi uma das soluções adotadas para elevar o aproveitamento do material, a partir da mitigação dos impactos que os defeitos aproveitados podem ocasionar, já que os produtos não possuem caráter estrutural. Os painéis elaborados apresentaram semelhança compositiva com muitos existentes no mercado, como parquets ou tacos, por exemplo, decisão que encontra respaldo no aumento da probabilidade de aceitação dos produtos, devido à familiaridade, e na aproximação com o processo produtivo usual das serrarias, promovendo uma reinserção do resíduo na cadeia produtiva. Por outro lado, isto também implicou na geração de subprodutos, notavelmente as taliscas e as costaneiras 2, tornando fundamental a realização de mais estudos sobre aproveitamento para complementar a cadeia de uso do material.

Esteticamente, os painéis apresentam características únicas, em decorrência da variação de cor, textura e dos nós e rachaduras, que devem levar à valorização dos produtos e, conseqüentemente, agregar valor também às costaneiras.

■ REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, A. Y. F. et al. **Desenvolvimento de painéis visando o aproveitamento de resíduos da usinagem da madeira de corymbia citriodora**. In: XV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2015, Curitiba.
2. BARATA, T. Q. F. et al. **Desenvolvimento de protótipos de mobiliário urbano com subproduto de madeira serrada de eucalipto**, p. 4350-4360. In: Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. São Paulo: Blucher, 2016.
3. CALIL JR, C., OKIMOTO, F. S., PFISTER, G. M. **Manual de classificação visual**. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/lamem/Templates/material/manual_de_%20classificacao_%20visual.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2017.
4. CERQUEIRA, P. H. A. et al. **Análise dos resíduos madeiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA**. Floresta E Ambiente, 19(4), p. 506–510. Doi: 10.4322/oram.2012.051. 2012.
5. CÉSAR, S. F.; CUNHA, R. D. A.; GUEDES, J. P. L. **Design, arte e sustentabilidade – móveis a partir da reciclagem de madeira**. In: Proceedings of World Congress on Communication and Arts, 2010, Guimarães.
6. _____. **Uma experiência de aplicação de resíduos de madeira de eucalipto em painéis para divisórias**. In: XIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2012, Vitória.
7. CHAHUD, E. et al. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de madeira a partir de resíduos de podas de árvores urbanas**. Revista Cultura e Extensão USP, v. 8, p. 109-122, 2012.
8. FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
9. FINOTTI A. R., et al. **Uso energético de resíduos de madeira na cadeia produtiva de madeira/móveis e possibilidades de geração de créditos de carbono**. In: Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha. Sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira. EdUCS; 2006, p.191-230.
10. HILLIG, É.; et al. **Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. Anais... Rio de Janeiro: Abepro, 2006. p. 1-7.
11. REMADE. **Características Intrínsecas da Madeira**. Revista da Madeira, n. 59, Set. 2001. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=4&subject=Caracter%EDsticas&title=Caracter%EDsticas%20Intr%EDnsecas%20da%20Madeira>. Acesso em: 29 nov. 2017.

“ Análise de diferentes tipos de vedações para sistema construtivo de madeira

┆ Silvia Betania **Scali**
UNICAMP

┆ Nilson Tadeu **Mascia**
UNICAMP

RESUMO

A construção civil gera uma quantidade significativa de resíduos, além de consumir energia e materiais não renováveis em suas demandas, causando preocupações crescentes que tornam importante buscar soluções envolvendo novas tecnologias construtivas. Atualmente no setor da construção civil, os sistemas construtivos em madeira focam na sustentabilidade e na industrialização das construções, contribuindo com aspectos ambientais, sociais e econômicos. Neste contexto, os sistemas construtivos em madeira, tipo pilar-viga, *woodframe* ou CLT (*Cross laminated timber*), vem apresentando potencial na substituição daqueles convencionais de construção. Além destes sistemas, destacam-se os híbridos, que mesclam diferentes materiais de construção tendo as peças de madeira a função estrutural principal. Este estudo analisa edificações constituídas de sistemas estruturais híbridos, que utilizam peças estruturais roliças de madeira de reflorestamento da espécie *Eucalyptus citriodora* com diferentes tipos de vedações, tendo o sistema estrutural principal em pilar-viga. Foram identificadas as manifestações patológicas, avaliadas as diretrizes de projeto e execução adotadas, bem como correlacionadas as patologias e possíveis causas, evidenciando-se as vantagens e desvantagens entre os materiais utilizados. Foram analisadas sete edificações com diferentes idades de construção e com três tipos de vedações: blocos de concreto, cerâmicos e placas de *dry wall* e cimentícias. As placas cimentícias e *dry wall* tiveram melhor desempenho com pequenas fissuras, enquanto os blocos de concreto e cerâmicos evidenciaram trincas e fissuras mais significativas. Neste contexto, a escolha dos materiais de vedação que apresentam melhor compatibilidade na interface com o sistema estrutural de madeira, e as manutenções preventivas são soluções eficazes para este tipo de construção.

Palavras-chave: Sistema Construtivo Híbrido, Eucalipto, Patologia, Vedações, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil (ICC) é uma das maiores geradoras de resíduos, tanto durante suas atividades construtivas urbanas quanto na obtenção de sua matéria prima. O cimento, que é a base deste setor, provém do calcário, um mineral não-renovável que pode ser encontrado em jazidas naturais, cuja exploração causa enorme impacto ambiental (MECHI; SANCHES, 2010). O atual cenário ambiental tem grandes preocupações com as volumosas quantidades de resíduos gerados, sejam industriais ou urbanos, sendo que tais resíduos podem ocasionar danos ambientais caso não tenha destinações adequadas. Diante deste fato, as tecnologias limpas entram com grande impacto para se utilizar estes resíduos. Uma das maneiras mais adequadas para se solucionar este problema é propor formas alternativas, tais como um modelo construtivo mais eficiente e a utilização de resíduos como matéria-prima (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012). Acrescenta-se a tais soluções, o emprego de matérias sustentáveis nas construções.

De acordo o documento que resultou da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92), o desenvolvimento sustentável pode ser expresso através da seguinte definição: “*Suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de fazer o mesmo*”. Ou seja, tal definição visa promover o consumo consciente de recursos naturais e mitigar a geração de resíduos, apostando novas técnicas construtivas “limpas” ou “secas”.

Neste sentido, ao uso da madeira reduz a “pegada” de carbono dos edifícios, contribuindo significativamente para a construção sustentável. Um edifício de madeira minora a energia utilizada sua construção e a perda de calor durante a ocupação por melhorar o isolamento e impermeabilidade, e é também muito fácil de ser demolido e ainda reciclado no final da vida útil.

Com o aumento da utilização do material ao longo de décadas, a busca por sustentabilidade na construção civil e o resgate da arquitetura vernacular (BARDI, 2012), com a desmistificação de seu uso e aprimoramento das técnicas de execução, cada vez mais sistemas construtivos em madeira têm sido difundidos, surgindo, assim, demandas de mercado.

O sistema construtivo com madeira roliça, mesmo sendo um dos mais antigos exemplos do emprego da madeira para construção de habitações, tem a característica arquitetônica de oferecer construções com design rústico, com acabamentos que recorrem a madeira in natura, trazendo à atmosfera uma sensação de conforto e plenitude.

Já o sistema híbrido, que mescla diferentes materiais na construção de edificações, no qual a madeira tem a função estrutural principal, tanto residenciais quanto comerciais, ganhou espaço no mercado da construção, pois otimiza recursos, gera menos resíduos e reduz o tempo dos processos construtivos.

Esta mescla de sistema construtivo pilar-viga de madeira com subsistemas de vedações de materiais diversos vem aflorando questionamentos de como utilizá-los, suas vantagens e desvantagens, quais técnicas serem aplicadas na ligação com a estrutura de madeira, os comportamentos físico e mecânico de cada material de vedação. Della Noce (1996) já havia avaliado a interface dos materiais neste tipo de construção, enquanto Partel (1999) abordado o uso do eucalipto roliço e seus diferentes tipos de sistemas estruturais. Há ainda alguns estudos de caso desenvolvidos por Folz e Ino (2012), que abordaram o sistema construtivo com vedações de taipa, entre outros.

Sob esta ótica, técnicas rudimentares de construção ou a ausência de técnicas nestes tipos de construções são constatadas, sendo praticamente desconhecidas as manifestações patológicas ocorridas nas edificações em virtude da união da madeira e estas vedações, destacando-se fissuras e trincas, funções de deformabilidades diferentes dos materiais envolvidos neste sistema construtivo.

As manifestações patológicas, neste caso, são intrínsecas desta tipologia de construção híbrida, como já mencionado anteriormente, em virtude principalmente da higroscopicidade da madeira, característica esta explicada pela constituição química da madeira, composta pelos polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina.

Um outro fator importante e associado com as manifestações patológicas em construções em madeira refere-se a retratibilidade da mesma, que é um fenômeno relacionado à sua variação dimensional, em função da troca de sua umidade com o meio ambiente, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, isto é, a umidade de equilíbrio higroscópico. Este equilíbrio pode sofrer variação que pode resultar em manifestações patológicas, as quais têm origem nas falhas decorrentes da concepção na fase de projeto, na negligência durante execução das medidas preventivas ou ainda em procedimentos de manutenção da construção que minimizem tais manifestações (TAKESHITA, 2016).

À luz destas considerações, é importante associar as manifestações patológicas com a norma brasileira, ABNT-NBR 15575 (2013), em sua definição sobre a vida útil das edificações como uma medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes, ou seja, o período de tempo em que estes elementos se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos. Esta capacidade de resistir a intempéries é observada com interação da estrutura não só com o ambiente em que está inserido, mas com as condições de uso, operação e manutenção.

Tendo em vista que as pesquisas são necessárias em relação aos sistemas construtivos utilizando-se a madeira em geral, é natural que se busquem informações sobre interação com os materiais tradicionalmente mais usados no mercado, uma vez que as construções que utilizam madeira têm, ainda, composições com outros materiais. Ao se buscar mesclar os materiais, existe culturalmente uma maior aceitação deste tipo de sistema construtivo composto por parte do mercado imobiliário.

Diante disto, difundir técnicas de execução, avaliar as vantagens e as desvantagens de cada material de vedação, com base nas manifestações patológicas identificadas, e determinar ações para minimizá-las impactará diretamente na segurança e durabilidade das construções. Neste contexto, este trabalho busca contribuir e avançar com as pesquisas o no Brasil sobre as construções híbridas que utilizem a madeira como material principal do sistema construtivo.

OBJETIVO

Com vistas à apresentação e divulgação de informações técnicas aos profissionais que atuam na área de especificação de materiais, visa este estudo, com um conteúdo empírico, voltar-se às questões relativas às construções híbridas com madeira e vedações de bloco de concreto, bloco cerâmico e *dry-wall* com placas cimentícias, inserindo-se projetos, dados, fotos com conteúdo ilustrativo, identificando-se as manifestações patológicas encontradas: fissuras e/ou trincas. São analisados os sistemas estruturais utilizando a espécie *Eucalyptus citriodora* e materiais de vedações diversos, que resultaram em construções híbridas e são relatadas as técnicas construtivas utilizadas, identificando as manifestações patológicas encontradas em face da deformabilidade diferente de cada material de vedação e da madeira. Tais análises correlacionam as patologias e as suas possíveis causas, apresentando vantagens e desvantagens entre os materiais tradicionais e novas tecnologias empregadas, difundindo-se o uso da madeira roliça.

Neste contexto, são metas deste trabalho a difusão de novas técnicas construtivas, bem como contribuir para as questões de sustentabilidade no setor, além de apresentar estudos anteriores e posteriores às execuções das obras, com um acompanhamento por período prolongado das mesmas.

MÉTODOS

A pesquisa, fundamentada em estudos de casos, tem caráter descritivo, qualitativo e exploratório e Godoy (1995, p. 58) abordando, de forma analítica, as diferenças entre os métodos quantitativo e qualitativo:

Num estudo quantitativo, o pesquisador conduz seu trabalho a partir de um plano estabelecido a priori, com hipóteses claramente especificadas e variáveis operacionalmente definidas. Preocupa-se com a medição objetiva e com a quantificação dos resultados. Busca a precisão, evitando distorções na etapa de análise e interpretação dos dados, garantindo assim uma margem de segurança em relação às inferências obtidas.

No presente estudo, de modo qualitativo, busca-se avaliar os casos sem enumerar e/ou medir eventos ocorridos. Parte de questões vivenciadas e registradas são definidas à medida que o estudo se desenvolve com a obtenção de dados descritivos sobre projetos e obras, processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando-se compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos participantes da situação de estudo.

Foram considerados estudos de caso de sete edifícios residenciais, construídos com madeira da espécie *Eucalyptus citriodora*, localizados no estado de São Paulo e finalizados, num período médio de cinco anos. Duas tipologias: térrea e dois pavimentos, projetadas e executadas no período entre 7 a 12 anos, situadas no interior de São Paulo, foram acompanhadas desde o projeto até a execução das obras com o objetivo de realizar esta pesquisa. Observa-se que, segundo Corrêa (2010), as manifestações patológicas não acontecem apenas quando a obra está finalizada, podem ocorrer até cinco anos após a finalização, portanto as edificações estudadas todas têm mais de cinco anos de finalização.

Verificou-se como subsistemas três diferentes tipos de vedações para compor o sistema construtivo híbrido, cujo sistema estrutural principal é pilar-viga, em *Eucalyptus citriodora* tratado em autoclave, ora aplicados individualmente, ora aplicados na mesma edificação. Com enfoque em materiais tradicionais de vedação: bloco de concreto e blocos cerâmicos e novas tecnologias para vedação: placas cimentícias e *dry wall*, visou-se contribuir para o aperfeiçoamento de técnicas construtivas com madeira, bem como ampliação de formulações teóricas a este respeito, apresentando a possibilidade de serem utilizados em conjunto.

Para tanto, foram desenvolvidos os trabalhos conforme seguintes etapas:

- a. Levantamento dos projetos arquitetônicos;
- b. Execução e acompanhamento das obras das edificações em questão;
- c. Execução de registros fotográficos periódicos durante a execução e pós-obra;
- d. Avaliação do comportamento das alvenarias de vedações, entre outros tipos de materiais para vedações em estruturas de *Eucalyptus citriodora* roliço tratado;
- e. Apontamento de manifestações patológicas e deformações diversas na interface dos materiais com a madeira, bem como nas diferentes vedações, por vezes encontradas no meio da parede ou na laje, indicando vantagens e desvantagens entre os materiais utilizados;
- f. Especificação e apresentação de técnicas utilizadas, correlacionando-as às manifestações patológicas.

O tempo de vida das edificações estudadas foi determinado com base na observação das manifestações patológicas, se ocorreram principalmente os três primeiros anos pós execução e a partir do quarto e quinto ano, quando a estrutura de madeira tende a acomodar. Desta forma, todas edificações foram construídas há mais de 6 anos.

DESCRIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES ANALISADAS

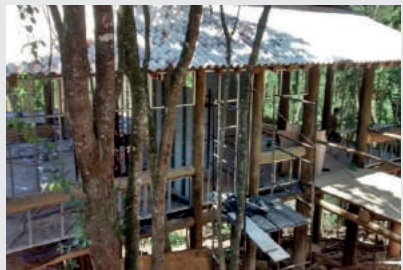
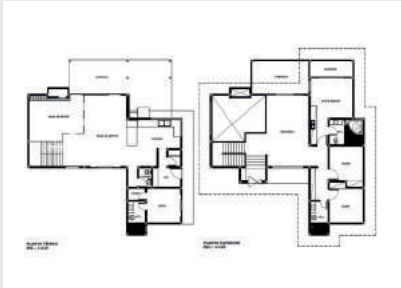
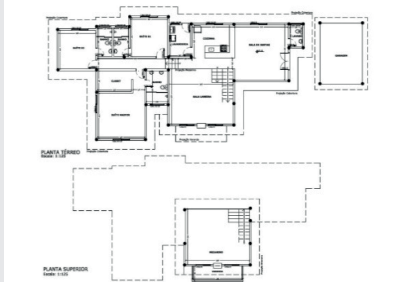
As descrições de dados dos estudos de caso de duas tipologias de edificações: térrea e dois pavimentos são apresentadas no Quadro 1. Para explorar as diferentes tipologias de construção e suas vedações diversas, suas manifestações patológicas bem como sistemas híbridos criados, foram fotografadas e analisadas as edificações com base em dados conhecidos dos materiais em questão, conforme a ABNT-NBR 7190 (1997). Estas obras foram executadas nos anos de 2008 e 2015 em sistema híbrido madeira com *steel frame*, bloco cerâmico e/ou bloco de concreto.

Quadro 1. Residências analisadas.

Caso	Residência Local	Idade da Construção	Tipologia	Área (m²)
A	Santana de Parnaíba - SP	12 anos	Térrea, Suspensa	120
B	Cajamar - SP	7 anos	Térrea, Suspensa	150
C	Santa Isabel - SP	10 anos	Sobrado	130
D	Embu das Artes - SP	8 anos	Sobrado	250
E	Itatiba - SP	7 anos	Sobrado	250
F	Itatiba- SP	6 anos	Térrea	140
G	Itatiba- SP	7 anos	Sobrado	250

O Quadro 2 exhibe por meio do projeto arquitetônico e registro fotográfico uma foto durante a execução e uma foto da edificação finalizada.

Quadro 2. Informações de levantamento de dados das obras projetadas, executadas e analisadas.

Edificação - CASO A		
Residência Unifamiliar 120 m ² , Santana de Parnaíba – SP, 2009. Tipologia: Térrea suspensa Vedação: Blocos cerâmicos		
Registro/Execução	Registro/Obra Concluída	Planta arquitetônica
		
Edificação - CASO B		
Residência Unifamiliar 150 m ² , Cajamar – SP, 2013. Tipologia: Térrea, suspensa. Vedação: steel frame.		
Registro/Execução	Registro/Obra Concluída	Planta arquitetônica
		
Edificação - CASO C		
Residência Unifamiliar 300 m ² , Santa Isabel – SP, 2012. Tipologia: Dois pavimentos. Vedação: Blocos cerâmicos.		
Registro/Execução	Registro/Obra Concluída	Planta arquitetônica
		
Edificação - CASO D		
Residência Unifamiliar 250 m ² , Embu das Artes – SP, 2012. Tipologia: Dois pavimentos. Vedação: Blocos de concreto.		
Registro/Execução	Registro/Obra Concluída	Planta arquitetônica
		

Edificação - CASO E

Residência Unifamiliar 250 m², Itatiba – SP, 2013.

Tipologia: Dois pavimentos.

Vedação: Placas cimentícias e *dry wall* x blocos de concreto e cerâmicos.

Registro/Execução



Registro/Obra Concluída



Planta arquitetônica



Edificação - CASO F

Residência Unifamiliar 140 m², Itatiba – SP (2), 2013.

Tipologia: Térrea.

Vedações: Placas cimentícias e *dry wall*.

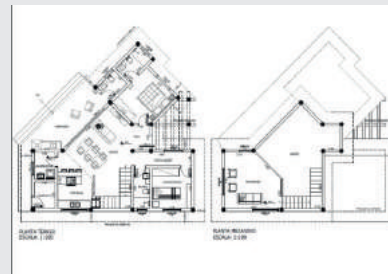
Registro/Execução



Registro/Obra Concluída



Planta arquitetônica



Edificação – CASO G

Residência Unifamiliar 140 m², Itatiba – SP (3), 2013.

Tipologia: Dois pavimentos.

Vedações: Blocos cerâmicos.

Registro/Execução



Registro/Obra Concluída



Planta arquitetônica



Todas as edificações avaliadas tratam-se de residências unifamiliares construídas em sistema estrutural de madeira tipo pilar-viga, com uso de eucalipto citriodora roliço tratado em autoclave.

As fundações de todas as edificações analisadas foram do tipo rasas, com estacas escavadas com trado manual de 25 cm e moldadas no local da obra com profundidade entre 2 e 4 metros de profundidade com sapatas medindo 50 cm x 50 cm x 50 cm e vigas baldrame 17 cm x 25 cm, com concreto usinado de resistência 20 MPa. As fundações foram executadas com as armações de aço dos blocos e das estacas medindo 50 cm x 50 cm x 50 cm com 4 barras de aço 3/8” (0,95 cm), em alguns casos com 6 barras, e as brocas 20

cm de diâmetro com estribos de 15 cm em 15 cm e barras 3/8" (0,95 cm). Todas variando entre 1,5 e 5 m de profundidade. Alguns pilares com dupla estaca.

A seguir, são apresentados os resultados das manifestações patológicas, considerações sobre as etapas construtivas de cada uma das residências, bem como os registros das fissuras com ênfase nas técnicas de execução utilizadas na etapa de construção para minimizar as manifestações encontradas em cada uma delas e método realizado e/ou sugerido para reabilitação.

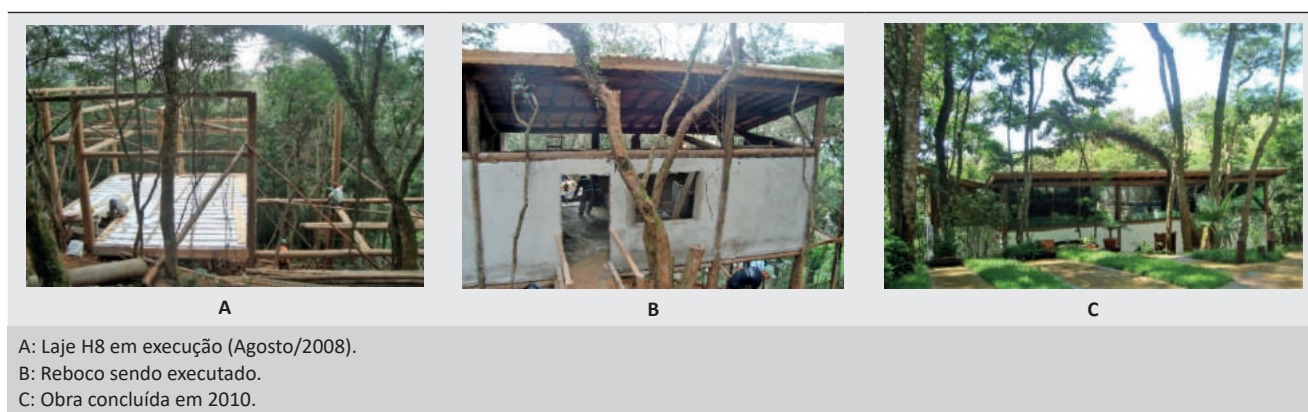
RESULTADOS

Com o levantamento sobre o sistema construtivo híbrido utilizando madeira foi obtido os dados que foram analisados sob a ótica da metodologia descrita, na qual a análise dos resultados foi realizada por meio de avaliação visual e levantamentos de dados das construções, observando-se as particularidades de cada uma. Os resultados e patologias avaliados e registrados entre 7 e 12 anos de construção levaram em consideração das ações climáticas que afetam os materiais de vedação e as peças de madeira, principalmente devido à variação dimensional (retração e inchamento) da madeira.

CASO A

A edificação residência A foi executada com vedações em blocos cerâmicos, possui laje de piso H8, inserida em terreno com declive, sua tipologia é térrea suspensa (Figura 1).

Figura 1. Edificação da residência A.



Manifestação patológica: Durante a execução, foram colocadas barras de aço 3/8" (0,95 cm) a cada três fiadas de blocos cerâmicos, bem como pregos metálicos medindo 17 cm x 21 cm na interface do pilar/alvenaria. A edificação tem 12 anos desde sua execução e não sofreu nenhum reparo de trincas e/ou fissuras, não apresentou nenhuma manifestação

patológica. A fundação foi feita com sapatas 50 cm x 50 cm x 50 cm com estacas de 4,00 metros de profundidade, devidamente interligadas por vigas baldrames.

CASO B

A edificação residência B, com vedações em placas cimentícias e *dry wall*, não possui laje, o piso de assoalho de garapeira de 15 cm suspenso foi fixado em barrotes 5 cm x 15 cm, inserida em terreno com declive bem acentuado, sua tipologia é térrea suspensa (Figura 2).

Embora a tipologia e metragem sejam semelhantes à edificação A, os subsistemas de vedações são diferentes.

Figura 2. Edificação da residência B.

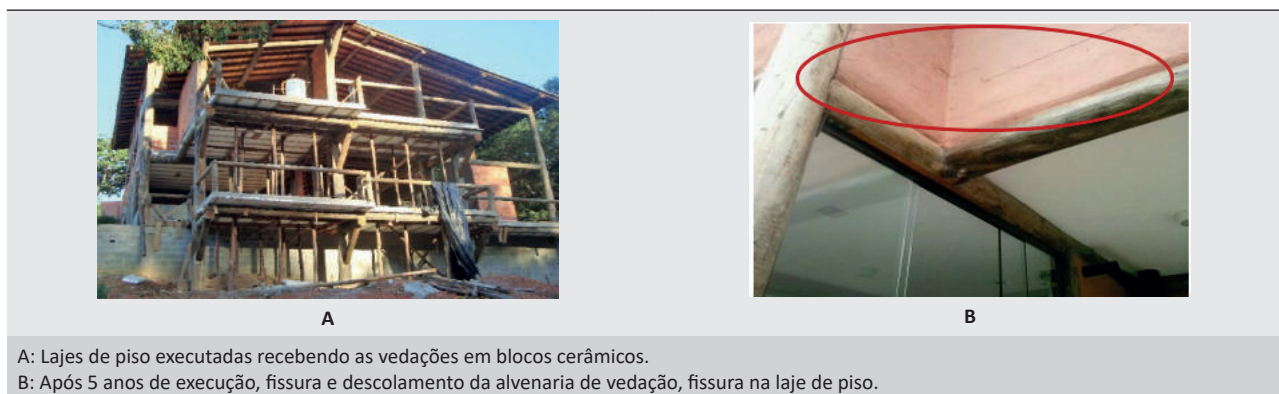


Manifestação patológica: Nenhuma manifestação patológica foi encontrada na edificação, em duas vistorias realizadas.

CASO C

A edificação residência C utilizou alvenaria convencional em blocos de concreto de 14 cm x 19 cm x 39 cm no pavimento inferior, e no superior, blocos cerâmicos 19 cm x 29 cm x 39 cm, possui laje de piso H12. Nas imagens A e B são observadas algumas etapas da construção da residência em análise, podendo verificar o método de construção em sistema híbrido, conforme já mencionado anteriormente (Figura 3).

Figura 3. Edificação da residência C.

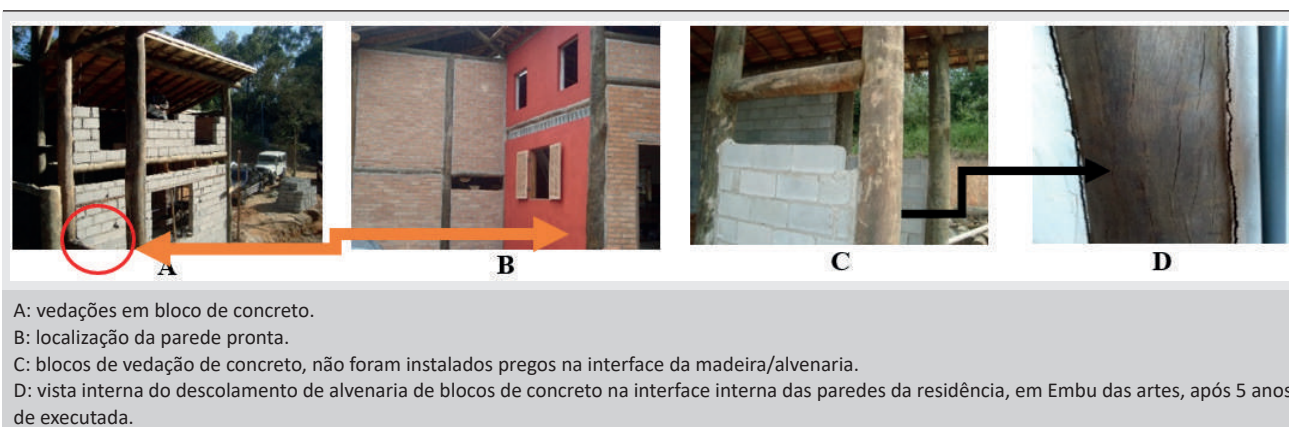


Manifestação patológica: Foram constatadas manifestações patológicas de trincas e fissuras, na interface dos pilares internos e fissuras e descolamento da laje apoiada sobre as vigas de madeira (imagem C). Na edificação da residência B foram aplicados poliuretano (PU) em todas as trincas e amaciados com massa corrida, bem como dado acabamento com pintura em tinta acrílica, até o momento sem registro de novas manifestações patológicas.

CASO D

Na edificação da residência D, a vedação ocorreu em alvenaria convencional em blocos de concreto de 14 cm x 19 cm x 39 cm, em algumas paredes as vedações foram executadas com tijolos maciços. Não possui laje de piso, apenas um mezanino com assoalho de madeira (Figura 4). As edificações B e C tem tipologias a D e materiais de vedações semelhantes, apenas diferem no vigamento intermediário: uma recebeu laje pré-moldada de concreto e a última apenas assoalho sobre barrotes de eucalipto tratado aparelhado 5 cm x 15 cm.

Figura 4. Edificação da residência D.



Manifestação patológica: Nas imagens A, B e C são observadas algumas etapas da construção da residência em análise, podendo verificar que não foi efetuada aplicação de pregos na interface da parede e pilar de madeira, como forma de minimizar possíveis

descolamentos da argamassa. Vários pilares internos apresentaram descolamento da argamassa como ilustrado (Figura 4/Imagem D). Foram reparados com PU, mas tornaram a surgir.

CASO E

Na edificação da residência E foi empregada alvenaria convencional em blocos de concreto de 19x14x39 cm no pavimento inferior. No pavimento superior, as vedações foram executadas com placas cimentícias externamente, internamente, com placas de *dry wall*. Não possui laje de piso, todo pavimento superior possui barroteamento de madeira e piso de assoalho de madeira (Figura 5).

Nas imagens A, B, C e D da Figura 5 é possível observar algumas etapas da construção da residência, podendo verificar o método de construção, composto por sistema construtivo principal pilar-viga e subsistemas de vedação em diferentes tipos de materiais, resultando em sistema construtivo híbrido, conforme já mencionado anteriormente. Na interface dos pilares de madeira e vedações em bloco de concreto e com blocos cerâmicos, foram instalados pregos metálicos medindo 17 cm x 21 cm para junção da argamassa (imagens E e F), bem como a colocação de barra de aço 3/8" (0,95 cm) para graute, criando colunas embutidas e também fazendo a interligação da parede e pilar, a cada três fiadas de blocos. Durante a execução da obra apresentada no quadro 2 (CASO E), tipologia dois pavimentos na cidade de Itatiba-SP, foram adotadas medidas preventivas apresentadas na Figura 5 (imagem D e E).

Figura 5. Edificação da residência E (a).



Manifestação patológica: A dilatação dos materiais decorrentes dos diferentes comportamentos físicos de cada um deles, ainda que tenham sido tomadas medidas preventivas nas interfaces, com a inserção de pregos metálicos e barras de aço 3/8" (0,95 cm), inserindo-se grautes para reforço de grandes paredes de vedação, como pode ser observado na Figura 6, para serem contidas, não evitaram as manifestações patológicas. As patologias puderam ser constatadas pelo lado exterior, após anos de execução: Figuras 7 e 8.

Figura 6. Edificação da residência E (b).



Avaliando-se os materiais bloco cerâmico (de vedação e estruturais) e bloco de concreto, constatou-se que o de concreto apresenta pequenas fissuras e em menor quantidade, enquanto as paredes vedadas com blocos cerâmicos apresentam número maior de fissuras e trincas,

inclusive com maior extensão diagonal e horizontal das mesmas. Isso ocorreu em maior escala nos casos de edificações com dois pavimentos, conforme pode ser observado na Figura 7.

Figura 7. Edificação da residência E (c).



Na edificação de dois pavimentos, nota-se a aplicação de pregos na interface de blocos e viga de madeira a fim de minimizar possíveis fissuras, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8. Edificação da residência E (d).



CASO F

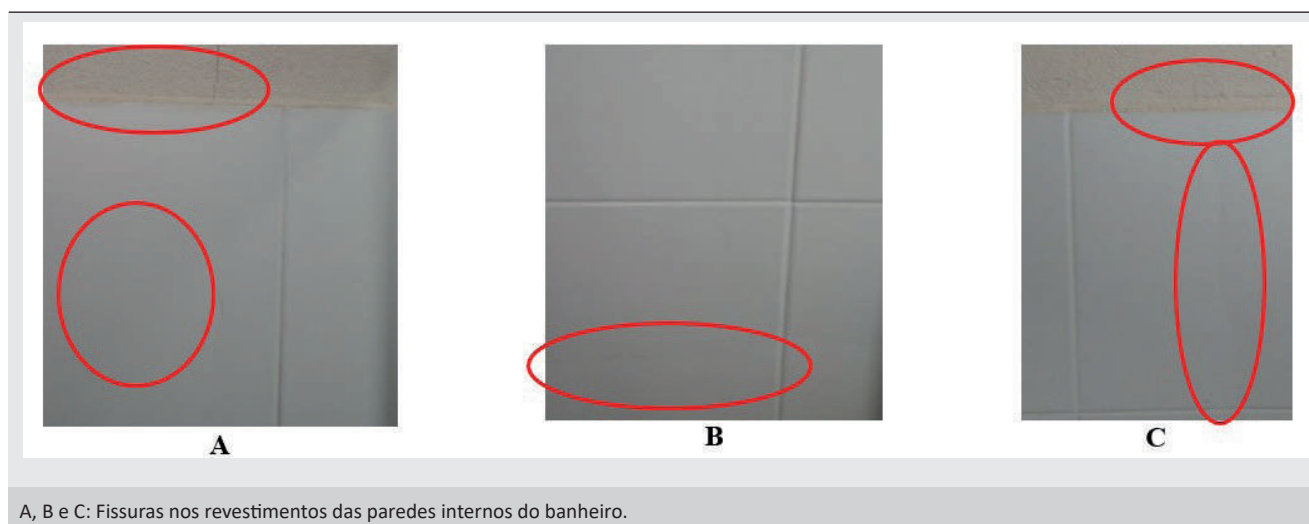
A edificação residência F foi vedada totalmente com placas cimentícias e *dry wall*, mesclando os sistemas construtivos *steel frame* e pila-viga de madeira, resultando em uma construção totalmente 'seca'. Nas imagens A (Figura 9) são observadas algumas etapas da construção da residência, podendo verificar o método de construção em sistema híbrido, conforme já mencionado anteriormente.

Figura 9. Edificação residência F (a).



Manifestação patológica: Esta manifestação patológica observada na Figura 9 pode ocorrer interna e externamente nas placas de fechamento (internas de *dry wall* e externas de cimentícias) e é causada devido à diferença de dilatação dos materiais, principalmente na interface das mesmas, pois a madeira expande ou retrai de forma diferente às variações de umidade no ambiente. Desta forma, os pontos em que os pilares estão faceando as fachadas apresentam maiores manifestações patológicas, refletindo nas paredes internas, conforme a imagem C (Figura 9), causando danos, inclusive, aos revestimentos cerâmicos aplicados às paredes (Figura 10). O modo de se minimizar e/ou reparar este tipo de manifestação é fazer, primeiramente, a ligação das placas cimentícias de forma adequada (com fitas apropriadas para o material) e depois aplicação de PU nas interfaces pilar-perfil metálico-placas.

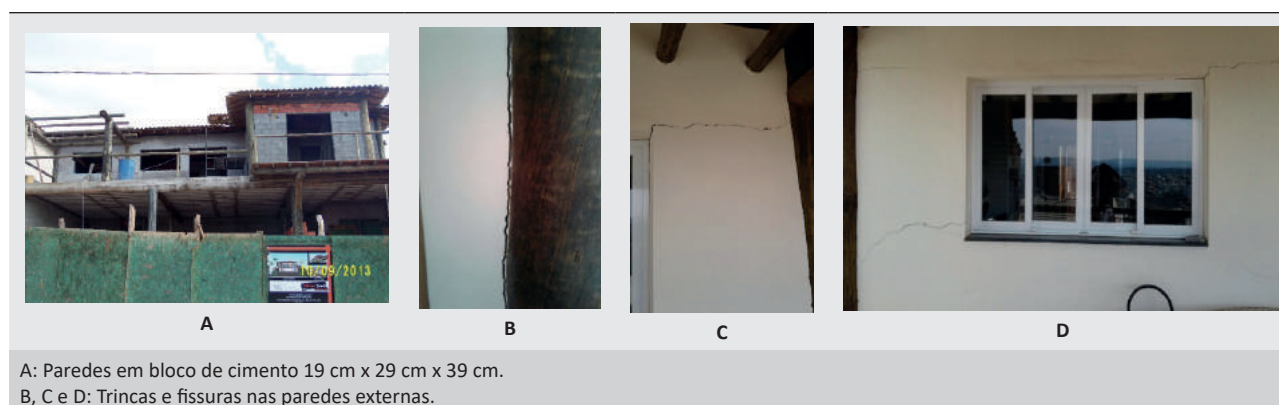
Figura 10. Edificação residência F (b).



CASO G

A edificação residência G teve a sua vedação basicamente com blocos de concreto 19 cm x 29 cm x 39 cm. Observa-se, entretanto, na Figura 10, imagem A, duas fiadas de blocos cerâmicos assentados por sobre a porta balcão de um dos dormitórios, no sistema convencional de alvenarias. Neste caso, não foram adotados os devidos cuidados de instalação de pregos metálicos na interface pilar-viga de madeira e blocos, bem como as vergas e contra vergas foram mal executadas, o que ocasionou em patologias mais severas. Nas imagens A, B, C e D da Figura 11 são observadas algumas etapas da construção da residência, podendo-se verificar o método de construção em sistema híbrido, conforme já mencionado anteriormente. Na sequência os registros de manifestações patológicas feitos em vistoria técnica, após 4 anos de execução da edificação.

Figura 11. Edificação residência G.



Foi relatado pelos proprietários que há alguns meses antes da vistoria fora executada uma obra em lote há aproximadamente 500 metros da edificação em questão, onde foi utilizada fundação com estacas escavadas, pressupondo-se que as vibrações da obra também contribuíram para a incidência das manifestações apresentadas.

Manifestação patológica: fissuras e trincas.

DISCUSSÃO

A seguir são discutidas e avaliadas as diversas manifestações patológicas verificadas nos diferentes tipos de vedação e materiais mencionados e técnicas preventivas adotadas em fase de execução.

PATOLOGIA NOS MATERIAIS

As vedações secas (tipo placas cimentícias e *dry wall*) apresentaram apenas descolamentos e pequenas fissuras próximo aos pilares, enquanto os blocos de concreto e blocos cerâmicos de vedação evidenciaram trincas e fissuras mais significativas, junto aos pilares e em diversas regiões das paredes, horizontalmente e transversalmente dispostas, mas sem causarem danos estruturais às construções. Portanto, este tipo de vedação é também uma opção mais sustentável que aquelas convencionais, embora tenham apresentado patologias, as mesmas podem ser minimizadas com premissas básicas na fase de projeto.

Já em relação ao sistema *steel frame* como subsistema de vedação, o sistema estrutural é mais suscetível à movimentação, trabalhando de forma diferente da estrutura pilar-viga, causando maiores fissuras.

Foram observadas determinadas manifestações patológicas intrínsecas nas peças de madeira, como a retratibilidade e o inchamento, não foi identificada a presença de micro-organismos, bolor ou qualquer sinal de biodeterioração de qualquer um dos materiais empregados.

PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES DE UM PAVIMENTO

Das sete residências analisadas não apresentaram incidência patológicas, as duas térreas suspensas, portanto, ainda que a estrutura seja mais suscetível à movimentação por ser suspensa, supõe-se que a boa “amarração” das paredes de vedação aos pilares e lajes, com fundação profunda e local de nenhuma movimentação de solo, nenhum atrito por veículo, resultaram em uma estabilidade e, conseqüentemente, sem patologias ocorridas. Verificou-se que as edificações térreas apresentam as peças estruturais e com menor número de sintomas patológicos, pois as vigas e parte dos pilares estão protegidos pelo beiral, não sofrendo intempéries devido às alterações climáticas.

PATOLOGIAS NAS CONSTRUÇÕES DE DOIS PAVIMENTOS

Constatou-se, ainda, que edificações de dois pavimentos ou mais apresentaram variação volumétrica dos materiais ampliada, devido aos efeitos da variabilidade dimensional da madeira, resultando em mais fissuras visto que em face de não existirem beirais na linha de vigas intermediária, permanecerem as vigas expostas à maior incidência solar e chuvas/intempéries, também as paredes expostas com maior incidência solar e de intempéries, sem beirais na linha de vigas intermediárias causam maior retração/dilatação da madeira, resultando em maior retração e inchamento e, desta forma, em manifestações patológicas, causando uma maior movimentação da estrutura. Os blocos cerâmicos, por serem menos resistentes que os de concreto, foram os que mais apresentaram trincas. O sistema estrutural das edificações de dois pavimentos pela própria composição de ter mais elementos componentes e ligações entre as peças apresenta rigidez reduzida. Além disto, por receber as cargas das lajes as peças estruturais de madeira da estrutura e somando-se a isto o efeito de arqueamento característica das lajes de concreto, tornam o sistema construtivo mais suscetível às movimentações. Consequentemente, as fissuras apareceram com maior frequência, em sentidos diversos nas interfaces do pilar alvenaria, do pilar/laje e também laje/parede conforme apresentado no estudo de caso B.

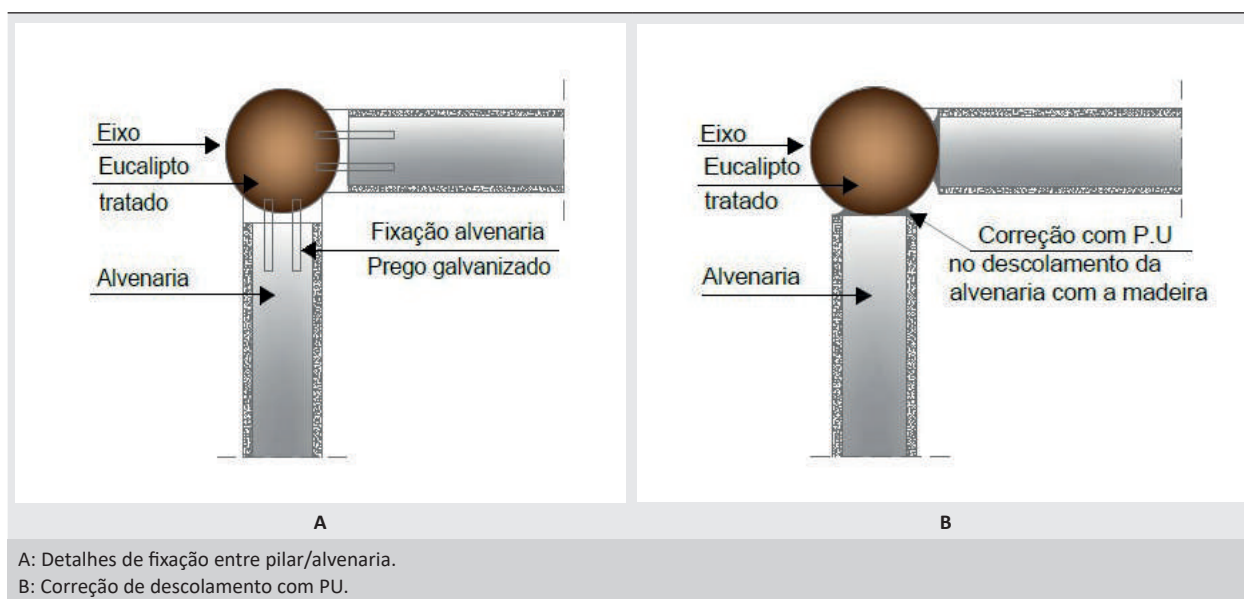
SOLUÇÕES EMPREGADAS

As medidas adotadas (ligações com pregos, instalação de barras 3/8 a cada 3 fiadas de blocos) nas interfaces dos pilares e vigas com as vedações também foram usadas para mitigar os efeitos da vibração e movimentações inerentes a cada tipo de estrutura. Em todas as edificações foram observados descolamentos na interface pilar-vedação, com qualquer um dos materiais de vedação, ainda que em menor proporção. Quando adotadas tais medidas de ligações apresentadas durante a execução, verificou-se que o descolamento ocorreu interna e externamente na interface dos pilares e em outras regiões das paredes, porém em maior quantidade nas paredes e pilares do perímetro externo e nas regiões de maior insolação.

As fissuras e trincas podem e devem ser corrigidas com adesivo poliuretano (PU) e eliminadas após tempo de acomodação da estrutura (algumas destas edificações continuam em observação e parte destas já apresentaram novas fissuras e/ou o retorno das identificadas no presente momento). Constatou-se que há maior dilatação nos três primeiros anos depois de finalizadas as obras, no entanto, apenas uma das edificações apresentou maior trabalhabilidade após cinco anos de execução. A causa provável reside em sua localização, em uma avenida de tráfego intenso, portanto, com maior vibração do pavimento e do solo pelas passagens de veículos pesados.

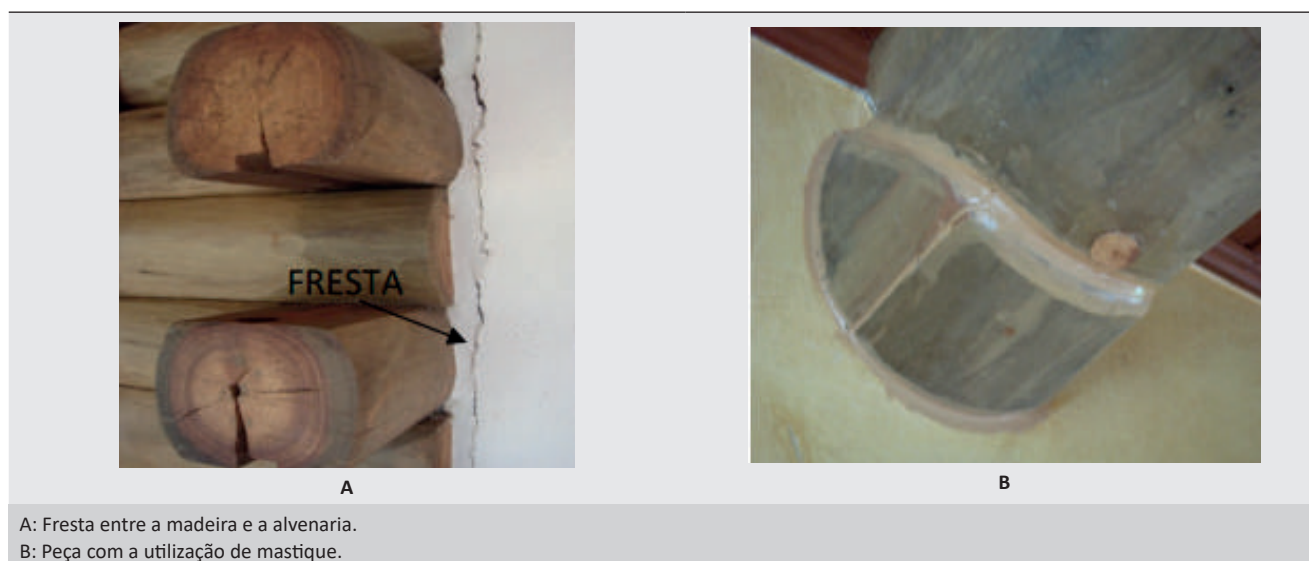
A Figura 12 (imagens A e B) apresenta detalhes do procedimento adotado nas edificações dos estudos de caso, tais como a ligação com pregos na interface do pilar de madeira/alvenaria. Esta técnica é utilizada para minorar fissuras e trincas durante a retração/dilatação da madeira. A imagem B da Figura 12 detalha o acabamento e/ou correção com adesivo poliuretano (PU) na interface do pilar e alvenaria após a obra já estar finalizada. Ainda pode ser utilizada como medida de reparo/correção de manifestação patológica posterior apresentada em virtude de não se ter adotado a técnica da imagem A da Figura 12 ou decorrente de outro mecanismo físico, mecânico ou químico que possa ter ocorrido. O acabamento mostrado na imagem B da Figura 12 pode ser utilizado ainda em fase de execução para melhorar o acabamento e eliminar possíveis infiltrações, podendo ser pintado na cor da parede para que fique imperceptível. Além de manutenção preventiva, este procedimento pode ser também utilizado pós descolamentos para reparos posteriores a qualquer momento da vida útil da edificação.

Figura 12. Detalhes executivos.



São evidenciadas através da Figura 13 as manifestações patológicas e acabamento de reparo em estudos já realizados Folz e Ino(2012) e Altoé(2009), e. A imagem A da Figura 13 ilustra detalhes de um tipo de manifestação patológica em construção utilizando madeira de eucalipto no sistema *log home* não abordado no presente trabalho, porém, também apresenta descolamento da parede de alvenaria causada pela diferente trabalhabilidade dos materiais, em que não houve utilização da medida preventiva abordada na Figura 12. A imagem B da Figura 13 exhibe a interface madeira/madeira e madeira/alvenaria e o acabamento efetuado. São estes tipos de patologias que foram encontradas em todos os estudos de casos, com exceção do caso A e C que não apresentaram manifestações patológicas.

Figura 13. Registros de patologias e reparos em estudos anteriores.



Fonte: ALTOÉ (2009)

Constatou-se que a determinação de algumas diretrizes de projeto e a avaliação das condições de aplicação de cada material são os melhores parâmetros de escolha. Confirma-se que, quando adotado algum método (ainda que empírico) para a junção nas interfaces da madeira/materiais diversos, tipo pregos metálicos, barras de aço 3/8" (0,95 cm), adesivo poliuretano e/ou poliuretano expandido, o aparecimento de trincas e fissuras foi quase totalmente eliminado. Alguns materiais de vedação também são menos suscetíveis a apresentação de manifestações patológicas, como placas cimentícias e de *dry wall*, por serem mais leves/menos densos e acompanharem a movimentação durante a variabilidade dimensional da estrutura de madeira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi o resultado da união de experiências de projeto e construtiva adquiridas ao longo de diversos anos, além de um vasto material de registro de informações sobre as construções realizadas. O acompanhamento sistemático com vistorias das edificações, identificando-se as manifestações patológicas em função de determinadas diretrizes construtivas utilizadas durante a execução, foi um aspecto relevante para se manter o padrão de qualidade deste tipo de sistema construtivo.

A metodologia utilizada neste estudo foi norteadada por inspeções visuais em ambientes externos e internos. Avaliou-se três diferentes tipos de vedações (blocos de concreto, cerâmicos e vedações em placas de *dry wall* e cimentícias) para compor o sistema construtivo híbrido, cujo sistema estrutural principal é pilar-viga foi efetuado em *Eucalyptus citriodora* tratado em autoclave.

No estudo foram tratados sete casos diferentes de edificações, todas construídas no estado de São Paulo, podendo-se aferir as seguintes conclusões:

- A utilização da madeira como material de construção, quer em elementos estruturais ou não, remonta aos primórdios da edificação, tendo igualmente relevante expressão desde o início da sua utilização e, por ser de capacidade renovável, está entre os grandes materiais do futuro das novas construções;
- Atualmente, com os avanços tecnológicos que permitiram empregar materiais até então considerados como resíduos da indústria madeireira e oferecendo soluções construtivas relativamente econômicas e de fácil aplicação, destacando-se a madeira enquanto material de construção;
- As construções híbridas apresentam vantagens e desvantagens. É possível escolher entre os diversos materiais que melhor se adaptam na interface com material, bem como tratar e aplicar correções eficazes. Assim sendo, pode-se afirmar que, com tratamento, manutenção e utilização responsável, sendo possível incorporar a madeira nas construções modernas, aproveitando-se das várias soluções;
- Os materiais utilizados nas vedações foram analisados em relação a aspectos como a sua função, utilização, viabilidade ou patologias apresentadas. Tais materiais podem ser utilizados sem qualquer prejuízo estrutural, apenas com diferenças de comportamento mecânico entre os mesmos, em função da variação dimensional de cada material, principalmente da madeira.
- Há muito campo de estudo para análise das construções que utilizam madeira em sua estrutura, sejam em pilar-viga ou outros sistemas construtivos associados ao *steel frame* e *wood frame*, ou aos demais tipos de materiais para vedação, uma vez que falta material de consulta para o profissional desta área e cresce o número de construções com estas características;
- De um modo geral, pode-se inferir que o mercado imobiliário tem aceitado positivamente novos sistemas construtivos constituídos por materiais pela combinação inovadora de materiais estruturais ou de vedação, com novas tecnologias de aplicação.

Tendo como foco as manifestações patológicas verificadas nesta pesquisa, sugere-se que sejam efetuados levantamentos de edificações em maior quantidade, com as mesmas tipologias, com sistemas construtivos híbridos e com outros tipos de materiais de vedações em diferentes regiões do país, para que haja a comparação entre eles, observando-se as particularidades de cada região onde estão localizadas. Poderão ainda ser considerados diferentes espécies de eucalipto indicadas para função estrutural, já que o estudo focou em uma espécie.

Buscou-se, por fim, com este estudo, tendo enfoque em material de construção renovável, a madeira, e em novas tecnologias para vedação, apresentar patologias presentes em sistemas construtivos híbridos, com o objetivo de contribuir para o aperfeiçoamento de técnicas construtivas com madeira, bem como a ampliação de utilização dos materiais de vedação analisados. Foi possível constatar que tais construções apresentam manifestações patológicas intrínsecas do sistema construtivo, que podem ser atenuadas com técnicas de execução adequadas, e para tal tipologia constitui uma opção importante no mercado da construção civil no país.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.575. Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf
2. _____. **ABNT NBR 7190. Projetos de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-estadual-do-oeste-do-parana/estruturas-de-madeira/outro/nbr-7190-projeto-de-estruturas-de-madeira/5467242/view>
3. ALTOÉ, E. S.; ALVAREZ, C. E. **A questão da durabilidade das edificações unifamiliares em tora de eucalipto no Espírito Santo: proposta de melhorias no sistema construtivo a partir de detalhamento na fase de projeto**. Hábitat Sustentable [Internet], v. 1, n. 1, p. 40-50, 2011. Disponível em: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/407/370>
4. BARDI, L. B. **Stones against Diamonds**. London: Architectural Association Publications, 2012. 132 p.
5. BRITO, L. D. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-14072010-085613/publico/2010ME_LeandroDussarratBrito.pdf
6. BRITO, L. D.; CALIL JR, C. Divulgação do 'Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento'. In: CIMAD 11 - 1.º CONGRESSO IBERO-LATINO AMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 2011. Coimbra. **Anais [...]**. Portugal: Universidade de Coimbra, 2011b.
7. CORRÊA, E. S. **Patologias decorrentes de alvenaria estrutural**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade da Amazônia, Belém, 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/9088904-Ederson-souza-correa.html>
8. DELLA NOCE, L. G. **Parâmetros para projeto e controle da fabricação e montagem em canteiro de painéis de madeira**. 1996. Dissertação (Mestrado em engenharias) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

9. FOLZ, R. R.; INO, A. Estrutura de eucalipto roliço e o subsistema de vedação de residência unifamiliar. **Floresta e Ambiente** [Internet], v. 19, n. 2, p. 210-218, 2012. Disponível em: <https://www.floram.org/article/10.4322/floram.2012.025/pdf/floram-19-2-210.pdf>
10. GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas da EAESP/FGV** [Internet], v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75901995000200008>
11. INO, A. **Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma construção em madeira.** In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1997. São Leopoldo, 1997. Anais [...]. Rio Grande do Sul, 1997. p. 1-8.
12. MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A. Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. **Procedia - Social And Behavioral Sciences** [Internet], v. 68, n.1, p.87-98, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.209>
13. MECCHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados** [Internet], v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10475>
14. PARTEL, P. M. P. **Sistemas estruturais e construtivos utilizando madeira roliça de reflorestamento.** 1999. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
15. TAKESHITA, S. **Aplicação de tratamentos estabilizadores pós-secagem convencional visando a redução do potencial higroscópico da madeira.** 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-08032016-145819/publico/Saly_Takeshita_versao_revisada.pdf

“

Análise dos resíduos gerados por indústrias de beneficiamento de madeira na região metropolitana de Belém

▮ Aline Lopes Gonçalves **Porto**
UFPA

▮ Alcebíades Negrão **Macedo**
UFPA

▮ Sidnei Silva e **Silva**
UFPA

▮ Enio Leite **Cardoso**
UFPA

RESUMO

A atividade da indústria madeireira no Brasil é altamente geradora de resíduos, e a destinação desses substratos é bastante diversificada, podendo ser transformados em outros produtos, como fonte de energia, mobiliário e materiais para construção civil, entretanto, se esta destinação for realizada de forma inadequada pode ser uma ameaça ao meio ambiente. No Brasil é obrigatório que toda a empresa do setor agroindustrial da madeira demonstre através de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos a destinação final de seus resíduos, porém, nem sempre esses dados são fornecidos, especialmente pelas empresas localizadas na Região Norte do Brasil. Este estudo objetiva identificar a destinação final de resíduos de indústrias de beneficiamento de madeira na região metropolitana de Belém, e desta forma, conhecer melhor o ciclo de vida da madeira beneficiada na referida região. Como metodologia de pesquisa utilizou-se revisão bibliográfica e levantamento de dados através de visita às indústrias, e entrevista com aplicação de questionário, este estruturado da seguinte forma: Informações cadastrais da indústria, espécies de madeira, quantidade de madeira processada mensalmente, equipamentos utilizados, aproveitamento médio de madeira por mês, principais produtos fabricados, quantidade média de resíduos gerados ao mês, tipos de resíduos gerados, e a destinação final desses resíduos. Como resultados principais observaram-se um avanço no aproveitamento da madeira, onde a empresa com o menor índice nesse aproveitamento apresentou um resultado 9% maior do que os resultados apresentados em estudos anteriores.

Palavras-chave: Resíduos de Madeira, Aproveitamento de Resíduos, Madeira Serrada, Indústria Madeireira, Ciclo de Vida.

INTRODUÇÃO

Alguns estudiosos, como é o caso de Gomes e Sampaio (2004), acreditam que no futuro haverá escassez de madeira, devido, principalmente, ao grande consumo deste material. É estimado que cerca de 40% a 60% do volume de uma tora não seja aproveitado, transformando-se em resíduos, que quando não utilizados viram apenas rejeitos. De uma maneira mais didática, pode-se imaginar que de cada dez árvores cortadas, em média apenas cinco são aproveitadas comercialmente.

A Região Amazônica é uma das maiores geradoras de resíduos provenientes do processamento da madeira, uma das justificativas é a carência de conhecimento tecnológico das propriedades da madeira, o que consequentemente causa o emprego inapropriado da tecnologia no processamento do material (MELO et al, 2012).

Para Brand et al (2002) a forma de solucionar este problema é através da caracterização do rendimento produtivo dessas indústrias, dos fatores geradores de resíduos, do volume e do tipo de resíduos produzidos, e da periodicidade da geração dos mesmos, além dos possíveis usos que podem ser dados a esses materiais. Os autores ainda enfatizam a importância da realização de análise de cada fase do processo produtivo, caracterizado pelo balanço de materiais e pela avaliação do rendimento da empresa. Além do desperdício e consequente prejuízo para as indústrias, outro problema gerado pelos resíduos é a carga poluidora que estes produzem.

Conhecer as informações sobre os resíduos de madeira é de fundamental importância para o poder público, que, por exemplo, poderá construir políticas públicas de controle e monitoramento ambiental; e também para a iniciativa privada, pois com essas informações poderão ser tomadas decisões sobre investimentos, produtos e mercados (BRASIL, 2012).

OBJETIVO

Quantificar, caracterizar e identificar a destinação final de resíduos de indústrias de beneficiamento de madeira na Região Metropolitana de Belém, através da análise do processamento das toras de madeira, desde a chegada à empresa até a destinação final dos resíduos

MÉTODOS

Como metodologia de pesquisa utilizou-se revisão bibliográfica e levantamento de dados através de visita a três indústrias na cidade de Benevides, na região metropolitana de Belém – PA. Onde foi realizada entrevista e aplicação de questionário, respondido por um representante de cada empresa. O questionário foi estruturado da seguinte forma:

- a. Informações cadastrais da indústria;
- b. espécies de madeira;
- c. quantidade de madeira processada mensalmente;
- d. equipamentos utilizados;
- e. aproveitamento médio de madeira por mês;
- f. principais produtos fabricados;
- g. quantidade média de resíduos gerados ao mês;
- h. tipos de resíduos gerados, e;
- i. a destinação final desses resíduos.

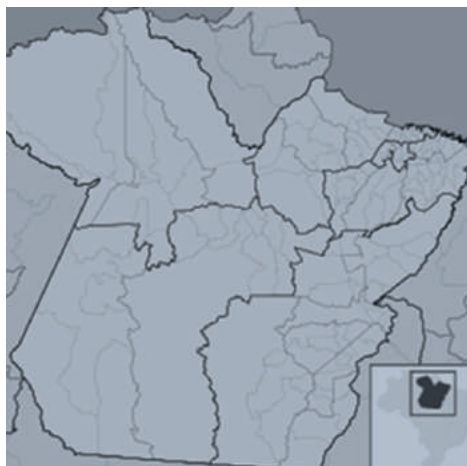
Alguns autores calculam a quantidade de resíduos a partir da equação: $\text{Entrada} - \text{Saída} = \text{Resíduo gerado no processo}$. Entretanto, como as empresas estudadas nesta pesquisa vendem os resíduos que produzem a metodologia utilizada para saber a quantidade de resíduos foi através dos relatórios diários que as empresas geram. Além disso, sabendo-se que durante o processo de desdobramento da madeira existem perdas, acredita-se que esta equação ($\text{Entrada} - \text{saída} = \text{resíduo gerado no processo}$) daria um resultado ilusório.

RESULTADOS

Caracterização das indústrias

Foi exigência das indústrias pesquisadas que seus nomes não fossem divulgados, por esta razão, optou-se por denominá-las como “A”, “B”, e “C”. Todas se localizam no município de Benevides (Figura 1), região metropolitana de Belém-PA, e estão situadas às margens de rios, o que favorece o transporte das toras através do meio fluvial, e também através do meio rodoviário, já que possuem acesso a uma rodovia estadual. Em todas as empresas pesquisadas a matéria prima beneficiada é adquirida de terceiros, e chegam na forma de toras.

Figura 1. Localização do Município de Benevides



Espécies Utilizadas

As espécies beneficiadas são diversas, como por exemplo: Maçaranduba (*Manilkarahuberi*), Muicatiara (*Astroniumlecointei*), Cupiuba (*Goupia glabra Aubi*), Angelim pedra (*Hymenolobiumpetraeum*), Cumaru (*Dipteryxodorata*), Angelim vermelho (*Diniziaexcelsa Ducke*), Pequiá (*Caryocarvillosum*), Taxi (*SclerolobiumpaniculatumVogel*), Timborana (*Piptadeniagonoacantha*). Além do processo industrial outro fator que influencia o rendimento das toras é a espécie da madeira, pois algumas têm mais rendimento do que outras, como é o caso da Cupiuba, Maçaranduba, Muicatiara.

Fluxograma do processo de beneficiamento

Na serraria as toras são transportadas até a linha de corte através de esteiras, e neste primeiro momento já são gerados resíduos, onde parte da casca se desprende e cai.

Em um segundo momento, chamado desdobro primário, durante a serragem realizada com serra de fita dupla, são retiradas as costaneiras, neste estágio o principal tipo de resíduo gerado é a serragem.

Em um terceiro momento, chamado desdobro secundário, é realizado o corte para a retirada das tábuas, e dos pedaços menores retirados os produtos secundários. Nesta etapa são gerados três tipos de resíduos: a serragem, a maravalha e as lenhas.

Determinação do Volume da madeira em tora, serrada e em resíduo

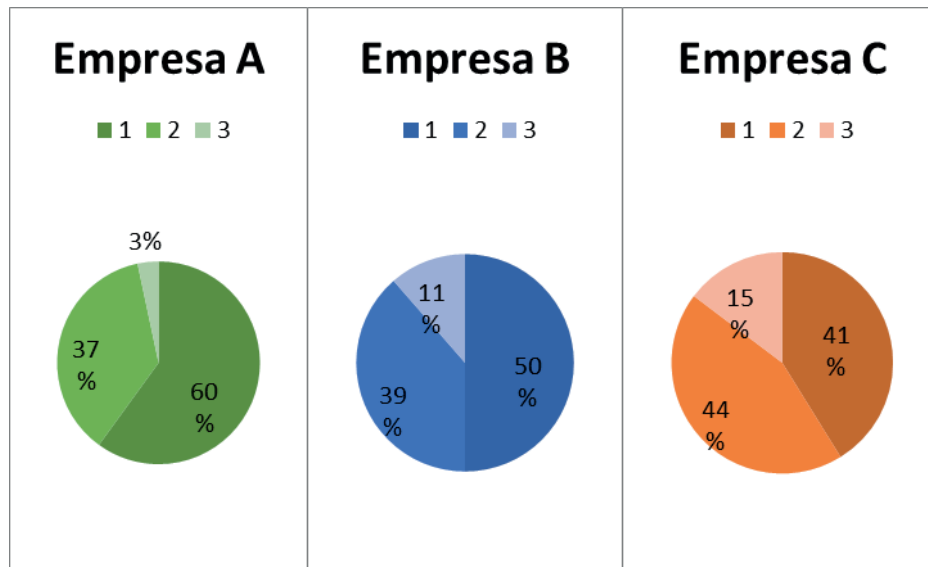
As empresas A, B e C apresentam números semelhantes quanto ao volume de entrada e saída de toras de madeira, geração de resíduos, e o rendimento mensal, que podem ser observados Na Tabela 1.

Tabela 1. Volume total de madeira em tora, serrada e resíduo.

Empresa	Volume de toras que entra (m³)	Volume de madeira serrada que sai (m³)	Volume de resíduos Gerados (m³)	Rendimento da Empresa (%)	Porcentagem de Resíduos gerados (%)
A	3000	1800	1100	60	36,7
B	3200	1600	1235	50	38,6
C	3400	1400	1500	41	44,1

Nos gráficos abaixo se percebe a porcentagem de resíduos perdidos durante o processo de beneficiamento da madeira (Gráfico 1); onde, na legenda, o item 1 significa o Volume de Toras que entra na empresa; O item 2 o volume de madeira serrada que sai; e o item 3 o volume de perda de resíduos durante o processamento.

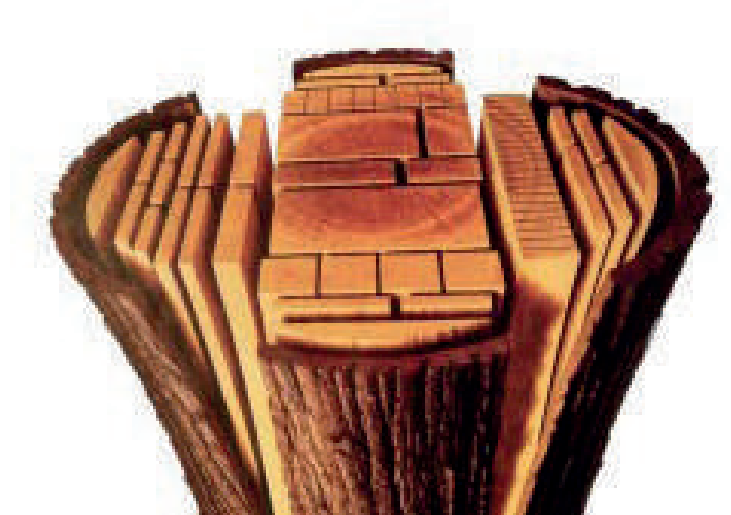
Gráfico 1. Perda de Resíduos



Observou-se que os tipos de resíduos gerados nas três indústrias são serragem, maravalha e lenha, estes vendidos para olarias como material combustível para fabricação de tijolos e telhas cerâmica.

Nas empresas A, B e C a madeira chega na forma de tora, e mais de 90% destas são beneficiadas e transformadas em caibro, ripa, mourões, entre outras peças (Figura 2).

Figura 2. Diferentes tipos de cortes da madeira



Fonte: Construbasico, 2017

DISCUSSÃO

Analisando pesquisa realizada em 2001 por Gerwing et al, onde a média do rendimento das indústrias de beneficiamento de madeira era de 32%, e comparando com este estudo, onde foi constatado neste estudo a empresa com menor rendimento, a empresa “C”, obteve

41% de rendimento, ou seja, 9% a mais do que a média encontrada por Gerwing et al em 2001. Logo, observa-se que existiram avanços.

Podemos observar que o Volume de Resíduos não é igual ao Volume de Toras menos o Volume de Madeira Serrada, isto acontece por causa de diversos fatores, desde a degradação da tora de madeira durante o armazenamento (Figura 3), até a serragem perdida devido à ação do vento, já que o local de corte das toras é realizado em galpão sem fechamento lateral. Gerwing et al (2001) em seus estudos já haviam observado que a degradação durante o armazenamento é um dos fatores que causam danos, isto se deve a deteriorização da madeira por ação de fungos, insetos e intempéries, que resultam na perda de 0% a 13% do volume total da tora.

Figura 3. Armazenamento de toras em uma das indústrias visitadas.



Em pesquisa realizada por Gomes e Sampaio (2004) em serrarias no estado do Pará, verificou-se que a maioria das indústrias não aproveitavam os resíduos, e sim repassavam-os para terceiros, sendo utilizados em olarias, caldeiras e fábricas de compensados. E Tuoto (2009) também constatou 1/3 do volume dos resíduos de madeiras gerados pela indústria madeireira na região Amazônica são queimados a céu aberto. As empresas utilizadas neste estudo corroboram essa constatação, tendo em vista que os responsáveis pelas empresas entrevistadas não tinham preocupação quanto à maior agregação de valor ao resíduo gerado. E nenhuma das três empresas pesquisadas beneficia seus rejeitos, mas sim, vende para terceiros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que quanto maior for o aproveitamento das peças de madeira para a fabricação de outros produtos, maior será o rendimento, como por exemplo, peças estreitas de 2,5cm de espessura que são utilizadas como ripas para telhados.

As empresas pesquisadas procuram aproveitar ao máximo as toras, para isso, fabricam produtos secundários, entretanto, ao analisarem-se algumas peças, percebeu-se que não há a preocupação com o acabamento das mesmas, pois, em muitos casos as peças variavam de dimensão, ou apresentam defeitos, como foi o caso das ripas.

Em alguns lugares do Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste as costaneiras são utilizadas como material da construção civil, no caso das empresas utilizadas como pesquisa para este estudo, observou-se que as costaneiras são cortadas em pedaços menores e transformadas em lenha. Provavelmente isto se deve ao fato de que na Região Norte não haja a cultura de adquirir peças do tipo costaneiras para a construção de residências.

Aproveitar todo o resíduo produzido, além de contribuir com a manutenção dos recursos naturais, proporciona uma nova alternativa econômica às empresas.

A partir da análise do Gráfico de perda de resíduos percebeu-se que a empresa C é a que possui um menor índice de aproveitamento de toras. E ao analisar a linha de produção da madeireira referida concluiu-se que isto se deve ao maquinário utilizado, estes estão visivelmente desgastados. A falta de investimento com a manutenção nestes equipamentos gera uma falsa sensação de economia, pois o prejuízo com o desperdício de matéria prima é muito mais danoso à empresa.

Algumas medidas simples podem elevar o rendimento das indústrias, como por exemplo, a melhoria no armazenamento das toras, o uso de equipamentos adequados, e manutenção dos equipamentos. Como já dito anteriormente, o que a princípio pode parecer gasto, em médio prazo irá se mostrar investimento.

Além das perdas econômicas, a queima dos resíduos de madeira na Amazônia traz problemas ambientais, pois, contribui com a geração de CO₂, exercendo influência para a mudança climática do planeta. Além de problemas de saúde à população local devido à fumaça gerada pela queima dos resíduos.

■ REFERÊNCIAS

1. BRAND, Martha A. et al. **Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais.** Revista Floresta, n. 32. 2012.
2. BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, DF, 2012.

3. CONTRUBASICO. Disponível em:<<https://blog.construbasico.com.br/tags/diferentes-tipos-de-cortes-de-madeira>>. Acesso em: 28 out. 2017.
4. GERWING, J. et al. **Rendimento no Processamento de Madeira no Estado do Pará**. Série Amazônia N° 18 - Belém: Imazon, 2000.
5. GOMES, J.I., SAMPAIO, S.S. **Aproveitamento de resíduos de madeira em três empresas madeireiras do Pará**. Comunicado Técnico, EMBRAPA, 2004.
6. MELO, Luís E. L. et al. **Resíduos de Serraria no Estado do Pará: Caracterização, Quantificação e Utilização Adequada**. Floresta e Ambiente jan./mar,2012.
7. TUOTO, Marco. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e preposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio as Políticas Publicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Curitiba – PR, 2009.

“

Aplicação de técnicas de microscopia na análise de penetração adesiva em lamelas de vigas de MLC com madeiras de alta e baixa densidade

▮ Raquel Schmitt **Cavalheiro**
USP/EESC

▮ Carlito **Calil Junior**
USP/EESC

RESUMO

O conhecimento de fatores que controlam a penetração do adesivo e sua influência na linha adesiva, em peças de Madeira Lamelada Colada (MLC) é importante para avaliar a qualidade da adesão e a profundidade de penetração do adesivo e na interpretação de eventos em escala macroscópica, como delaminação e cisalhamento na linha de adesivo. Aqui, apresenta-se o uso de Microscopia Ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com o objetivo de avaliar a adesão nas interfaces e interfases de vigas de MLC, obtidas a partir de madeiras de reflorestamento correlacionando uma espécie de alta (*Lyptus*[®]) e uma de baixa densidade (*Pinus sp*), coladas com um adesivo à base de poliuretana (Jowapur[®] 686.60). As amostras analisadas foram preparadas a partir das vigas de madeira lamelada colada, que foram cortadas em peças menores e depois com um micrótomo, para ajustá-las às dimensões adequadas a cada equipamento de microscopia utilizado. As duas técnicas de microscopia apresentaram resultados distintos, mas complementares em relação às conclusões a que levaram. De forma geral, os resultados mostraram que, quanto maior a densidade da madeira, maior é a espessura da linha adesiva, uma vez que a penetração do adesivo é rasa; enquanto na madeira de baixa densidade, a espessura da linha adesiva é menor e apresenta maior espalhamento do adesivo pela madeira.

Palavras-chave: Madeira, Adesivo, Microscopia Ótica, Microscopia Eletrônica de Varredura, Madeira Lamelada Colada.

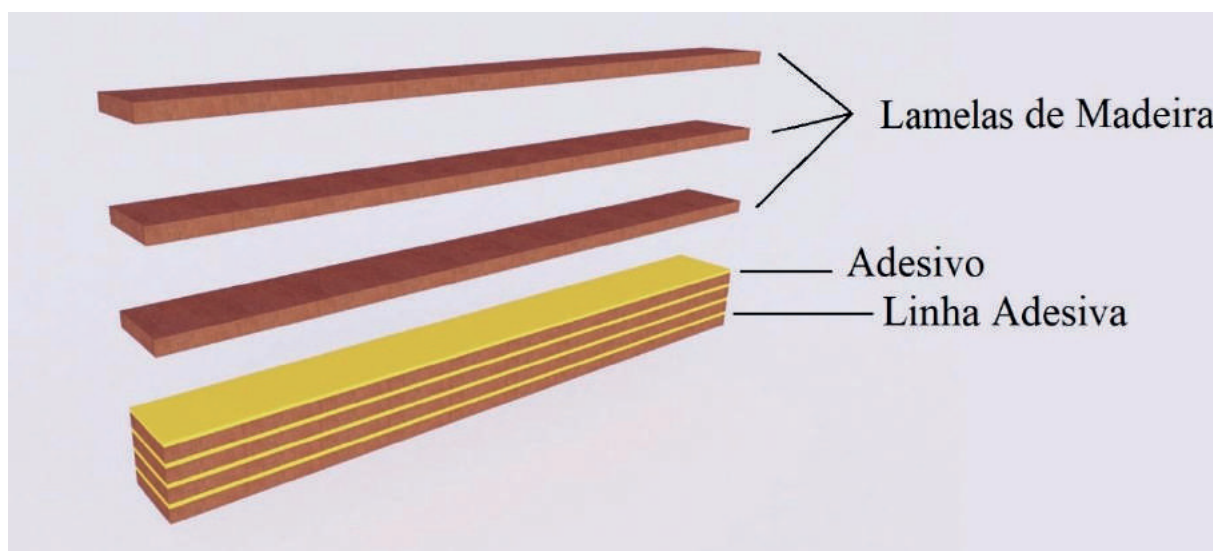
INTRODUÇÃO

A grande importância dos produtos à base de madeira na sociedade contemporânea se deve ao fato de que permitem uma ampla variedade de apresentações e formas que encontram aplicação, tanto para a construção civil, como na fabricação de móveis e utensílios.

A madeira é um material compósito de alta complexidade. Na maioria dos vegetais, inclusive as árvores, ocorre a síntese de hidratos de carbono, realizada a partir da seiva bruta - uma solução aquosa de sais minerais em baixa concentração, que é retirada do solo pelas raízes; de gás carbônico (CO_2), do ar atmosférico e na presença de calor e luz solar, sob ação da clorofila, contida nas folhas. Esses hidratos de carbono produzidos são monossacarídeos com alto potencial de polimerização. As reações de polimerização subsequentes levam à formação de açúcares que, por sua vez, formam as substâncias orgânicas que constituem a estrutura anatômica dos vegetais, das quais destacam-se a celulose, a hemicelulose e a lignina, entre outros (OLIVEIRA, 1997; HELLMEISTER, 1973).

O produto engenheirado nomeado como “Madeira Lamelada Colada - MLC” é produzido utilizando lamelas de madeira unidas por um adesivo. Estas lamelas apresentam dimensões relativamente reduzidas, quando comparadas às dimensões da peça final constituída pelo conjunto madeira-adesivo. Essas lamelas, unidas pela colagem, ficam dispostas de tal maneira que as suas fibras fiquem paralelas entre si (SZÜCS, 1992), com o intuito de reagirem aos esforços como se fosse uma única peça maciça (CHAHUD et al., 2009). A Figura 1 ilustra o processo de preparação de um arranjo de MLC a partir de lamelas (tábuas), unidas entre si por camadas de adesivo.

Figura 1. Ilustração do processo de laminação de tábuas para preparação de uma peça de MLC.



Fonte: Imagem do autor (2020).

Os produtos estruturais derivados de madeira, tal como a MLC, têm propiciado novos campos de aplicação para a madeira, cumprindo os requisitos das construções modernas.

Nesse contexto, o outro agente que exerce papel de protagonista na preparação das peças de MLC é o adesivo. De forma geral, a função de um adesivo é manter unidos outros materiais pela superfície desses materiais. Os materiais a serem unidos são chamados de substratos e são interligados por meio da adesão.

Os adesivos para madeira vêm sendo utilizados e aperfeiçoados há muitas décadas. Estes adesivos apresentam uma enorme importância industrial, já que atualmente, no mundo, mais de dois terços dos produtos de madeira são total ou parcialmente unidos utilizando-se um tipo de adesivo. A razão é que a ligação adesiva oferece muitas vantagens frente a outros métodos de junção para componentes de madeira (PIZZI & MITTAL, 2011).

Em relação à Madeira Lamelada Colada (MLC) uma importante característica do adesivo é manter a durabilidade e integridade ao longo da vida da estrutura. Dessa maneira, os adesivos para fins estruturais devem produzir ligações de resistência e durabilidade tais, que a integridade da ligação colada seja mantida por toda a vida esperada da estrutura, nas condições climáticas de uso.

O uso de adesivos para colar a madeira, apesar de ser uma prática antiga, não é tão simples, considerando-se que existem diversas variáveis envolvidas. As variáveis vão desde a característica do adesivo, processamento da madeira, até a influência do ambiente na estrutura colada (SZÜCS & VELLOSO, 2004). Portanto, manter duas superfícies aderidas exige a escolha adequada do tipo de adesivo em função das propriedades da madeira a ser colada e da aplicação do produto final. Além do tipo da madeira, deve-se também considerar o efeito da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar que afetam o teor de umidade da madeira, enquanto flutuações de carga e alterações na estrutura, também podem influenciar o desempenho da peça acabada em longo prazo (RAKNES, 1997).

Assim, os adesivos são selecionados pela sua classe de uso, definida pelas condições climáticas de uso, espécie de madeira, o tipo de preservativo, além dos métodos de fabricação, de modo a obter juntas duráveis e resistentes. (CAVALHEIRO, 2014)

Com relação à eficácia de adesão, Pizzi afirmou que para dois materiais estarem colados com aderência máxima, o adesivo deve fluir para molhar os aderentes antes de atingir um estado rígido e produzir um contato íntimo. As moléculas do adesivo devem se difundir pela superfície para um maior contato com a estrutura molecular da madeira, de modo que as forças intermoleculares do adesivo e da madeira possam se tornar eficazes (PIZZI, 1983).

Sernek reportou que a penetração adesiva é definida pela distância espacial entre a interface do substrato com penetração pela madeira. (SERNEK et al., 1999). Conforme definido por Brady e Kamke, o volume que contém as células da madeira com adesivo é a região de interface da ligação adesiva. (BRADY & KAMKE, 1988)

A penetração do adesivo na madeira pode ocorrer em duas escalas: uma grosseira que se refere a resina ocupando o lúmen celular, enquanto que outra se refere à penetração em escala molecular, que ocorre quando uma menor quantidade do adesivo se infiltra nas paredes das células da madeira (KAMKE & LEE, 2007).

Inúmeros estudos e revisões tem sido apresentados para entender que fatores controlam a penetração do adesivo e como isso interfere na linha de junta do adesivo.

Por sua vez, o desempenho de materiais ligados por adesivos, incluindo produtos de madeira, depende da capacidade do adesivo em transferir tensões mecânicas através da interface comum. Sendo a madeira um material natural, poroso, a natureza da interface é altamente variável e adesivos líquidos podem fluir e penetrar no substrato celular durante a ligação. Embora o termo “interface” seja usado para designar uma superfície bidimensional virtual entre o adesivo e o aderente, a “interfase” se refere ao volume adjacente à interface, que inclui a região de penetração do adesivo, entre a região de transição dos materiais puros (KAMKE & LEE, 2007), devendo-se considerar que a penetração do adesivo ocorre em múltiplas escalas na região da interfase.

A penetração do adesivo na madeira envolve a capacidade do adesivo em preencher os vazios da superfície, p. ex. os lumens, ou penetrar na própria parede celular. (PARIS & KAMKE, 2015). Se o adesivo não penetrar o suficiente na madeira, não haverá uma interação madeira–adesivo forte, se a penetração ocorre com grande extensão, a linha de cola não permanece com adesivo suficiente para ligar as superfícies a serem coladas. Além da penetração, deve-se considerar umectação, ou a habilidade que uma gota do adesivo tem de formar um pequeno ângulo de contato com a superfície e a fluidez, que envolve o escoamento do adesivo sobre a superfície em um tempo razoável. Essa característica é importante, pois quanto maior a fluidez, mais a superfície é coberta pelo adesivo resultando em uma colagem mais eficiente (FRIHART, 2005)

Desse modo, a compreensão das formas de interação entre o adesivo e a madeira, como, por exemplo, usando os ensaios mecânicos em função da influência da resistência mecânica causada pelo adesivo na madeira, colabora intensamente para interpretação de resultados na escala macroscópica, uma vez que, a profundidade da penetração do adesivo vai determinar o tamanho da região de interfase.

Além disso, outro fator importante a ser considerado é a preparação e processamento da superfície da madeira que irá receber a aplicação do adesivo, que pode ser aplainada ou mesmo ser tratada com um primer. (AHMAD et al., 2010).

A caracterização microscópica do comportamento de interação do adesivo com a madeira é altamente desejável a fim de se otimizar os processos de fabricação e as propriedades do produto (CAVALHEIRO, 2018). No presente estudo, foram utilizadas duas espécies de madeira de reflorestamento uma folhosa, *Lyptus*®, de alta densidade e uma conífera, *Pinus*

sp, de baixa densidade. A preparação dos diferentes MLC foi feita usando-se um único adesivo à base de poliuretano: Jowapur® 686.60. Assim, por meio das técnicas de microscopia procurou-se avaliar a profundidade de penetração do adesivo na madeira, formação de bolhas e cristais. Em adição, procurou-se avaliar a tensão residual dos adesivos.

OBJETIVO

Avaliar comparativamente os resultados de duas técnicas de microscopia, a Microscopia Ótica e a Microscopia Eletrônica de Varredura, na observação da interfase madeira-adesivo, quanto à penetração e adesão em peças de Madeira Lamelada Colada (MLC), preparadas com madeira de baixa densidade e de alta densidade unidas entre si por um adesivo tipo poliuretano.

Preparar peças de MLC com *Lyptus*® e *Pinus sp*, e obter amostras em dimensões e formas adequadas à cada técnica de microscopia.

MÉTODOS

Materiais

Nas colagens foi utilizado um adesivo poliuretano monocomponente reforçado com fibras indicado para fabricação de MLC e emendas dentadas, conhecido pelo nome comercial de Jowapur® 686.60. O adesivo é livre de formaldeído, apresenta cor neutra e resulta em linha adesiva elástica e altamente resistente à umidade e intempéries. A cura do adesivo ocorre pela reação de grupos isocianato em contato com a água presente na madeira. O tempo de prensagem para madeiras com teor de umidade entre 9% e 12% depende da temperatura no plano do adesivo variando entre 90 – 180 minutos (JOWAT AG, 2005).

Procedimentos

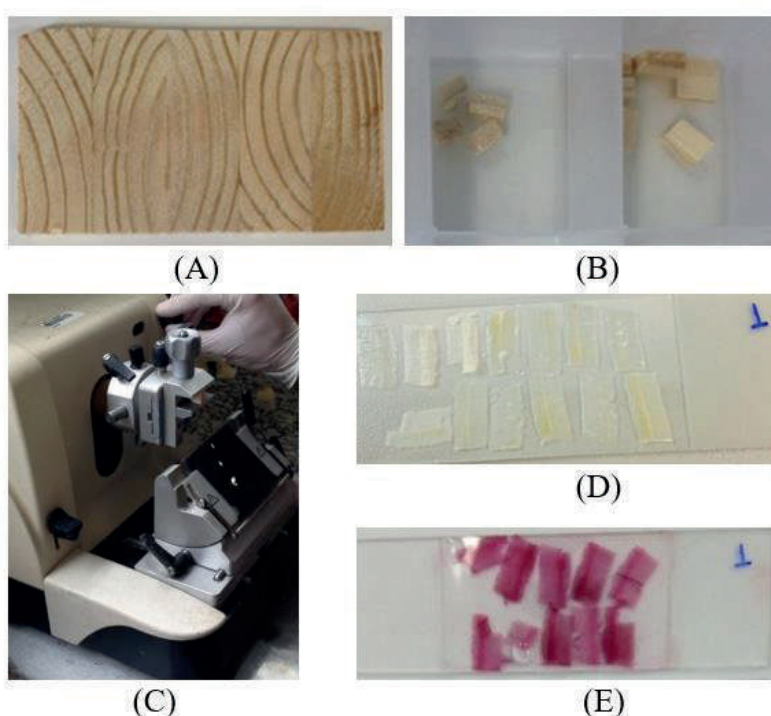
Neste trabalho foram utilizadas duas espécies de madeira de reflorestamento *Lyptus*® e *Pinus sp*. Foram montadas vigas de MLC, buscando-se balancear a composição em termos dos MOE de cada componente. Cada lamela foi inicialmente aplainada e limpa, para receber o adesivo, com aplicação por pincelamento e, após montagem, as mesmas foram prensadas. A pressão aplicada e o tempo de prensagem foram determinados, conforme as instruções do fabricante do adesivo. As lâminas de madeira individuais foram condicionadas a 12 % de umidade e aplainadas imediatamente antes de receber a aplicação do adesivo. (PARIS, 2015)

As amostras analisadas por técnicas microscópicas foram preparadas a partir das vigas de MLC, configurando corpos de prova de espessura de 1 cm no máximo, com base e altura em função do tamanho de cada viga. A partir dessas amostras foram obtidos corpos de prova de 1 x 1 cm, contendo a linha adesiva.

A resolução, ampliação e contraste são as características principais para serem levadas em conta, quando se pretende selecionar um sistema de microscopia para observar a morfologia de um objeto. As amostras analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura receberam os cortes em um micrótomo atingindo espessura de 25 μm , foram coladas em uma fita condutora e recobertas com ouro metálico, antes de iniciar os ensaios. As amostras para as análise por Microscopia Ótica, foram tingidas com o corante Safranina e cortadas com mesma espessura anterior, no micrótomo.

A Figura 2 ilustra os cortes realizados nas vigas até a preparação dos corpos de prova em dimensões adequadas para serem usados em cada técnica de microscopia.

Figura 2. Cortes realizados e as dimensões finais adequadas aos equipamentos de microscopia utilizados. (A) Fatiada com 1 cm de espessura retirada da viga. (B) Fatia da viga cortada em pedaços menores de aproximadamente 1 cm x 1 cm. (C) Realização de cortes com o micrótomo. (D) e (E) Lâminas prontas para serem analisadas no microscópio óptico, sem e com corante respectivamente.



Fonte: Imagem do autor (2020).

Microscopia Ótica

No microscópio óptico é explorada a interação que ocorre entre a luz e os objetos. O equipamento pode funcionar em transmissão para amostras transparentes ou em reflexão para amostras opacas. A constituição do microscópio, em ambos os modos, é essencialmente

idêntica. Neste estudo foi utilizado um microscópio óptico Laica DM 2700 M. O corante utilizado para obter contraste nas amostras nas amostras foi a Safranina O (Aldrich, 97%).

Microscopia Eletrônica de Varredura

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) utiliza um feixe de elétrons no lugar dos fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca (DEDAVID, GOMES & MACHADO, 2007). A principal vantagem da microscopia eletrônica em relação à óptica é a resolução, permitindo alta ampliação de detalhes próximos sem perda de nitidez, que pode ser obtida quando as amostras são observadas; valores da ordem de 2 a 5 nm. Neste trabalho foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) FEI Modelo Inspect F50.

RESULTADOS

A madeira é um material de origem orgânica, heterogêneo e constituído por células dispostas e organizadas em diferentes orientações. Assim, o aspecto da madeira, varia de acordo com a face de corte ou de observação (BURGER & RICHTER, 1991).

Tais diferenças de aspecto são associadas à orientação dos elementos constituintes da madeira de forma paralela ou perpendicular a um eixo de simetria. No presente trabalho, optou-se pelo corte na direção transversal, isto é, aquela perpendicular ao eixo do caule para observar a região da linha de cola das amostras analisadas. O corte neste plano fornece uma seção transversal ao eixo da árvore, corresponde à seção transversal de um troco ou peça de madeira

A observação microscópica realizada procurou a diferenciação da profundidade e o tipo de penetração. As micrografias permitiram observar a área de acumulações de adesivo, como as células de parede, fibras ou vasos.

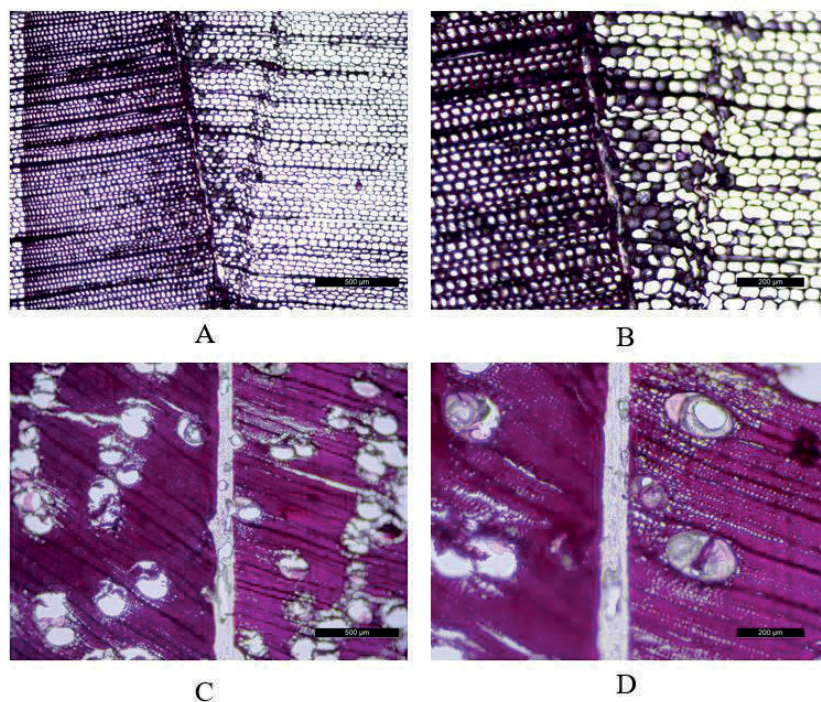
Microscopia Ótica

As Figuras 3 (A) e (B) apresentam imagens feitas com o microscópio óptico, da Lâmina 1 tingidas com o corante safranina, madeira de *Pinus sp*, colada com adesivo Jowapur[□] e sem tratamento químico enquanto as Figuras 3 (C) e (D) apresentam as imagens obtidas com o microscópio óptico, da Lâmina 2 tingidas com a Safranina, madeira de *Lyptus*[□], colada com adesivo Jowapur[®], sem tratamento químico.

As Figuras 3 (A) e 3 (B) apresentam as imagens obtidas em duas regiões diferentes da amostra, tratam-se de imagens diferentes da mesma amostra tingida numa mesma região, porém, com ajustes diferentes no microscópio para se obter uma melhor visualização.

Nas imagens acima 3 (C) e (D) pode-se notar a maior densidade da madeira de *Lyptus*[®] em relação à Amostra 1 da madeira de *Pinus sp* (Figs. 3 (A) e 3(B)). Observa-se nestas amostras a presença de vasos que são característicos das folhosas.

Figura 3. Fotomicrografias obtidas com microscópio ótico para amostras de *Pinus* e *Lyptus* ambas coladas com Jowapur[®]. (A) *Pinus* região 1 (B) *Pinus* região 2 (C) *Lyptus* região 1 (D) *Lyptus* região 2.



Fonte: Imagem do autor (2020).

Foi, ainda, possível verificar a presença de bolhas e cristais na fase do adesivo, assim como a tensão residual na fase pura localizada na região central. Pode-se identificar claramente as regiões de interface, interfase e a penetração do adesivo nas lamelas.

Microscopia Eletrônica de Varredura

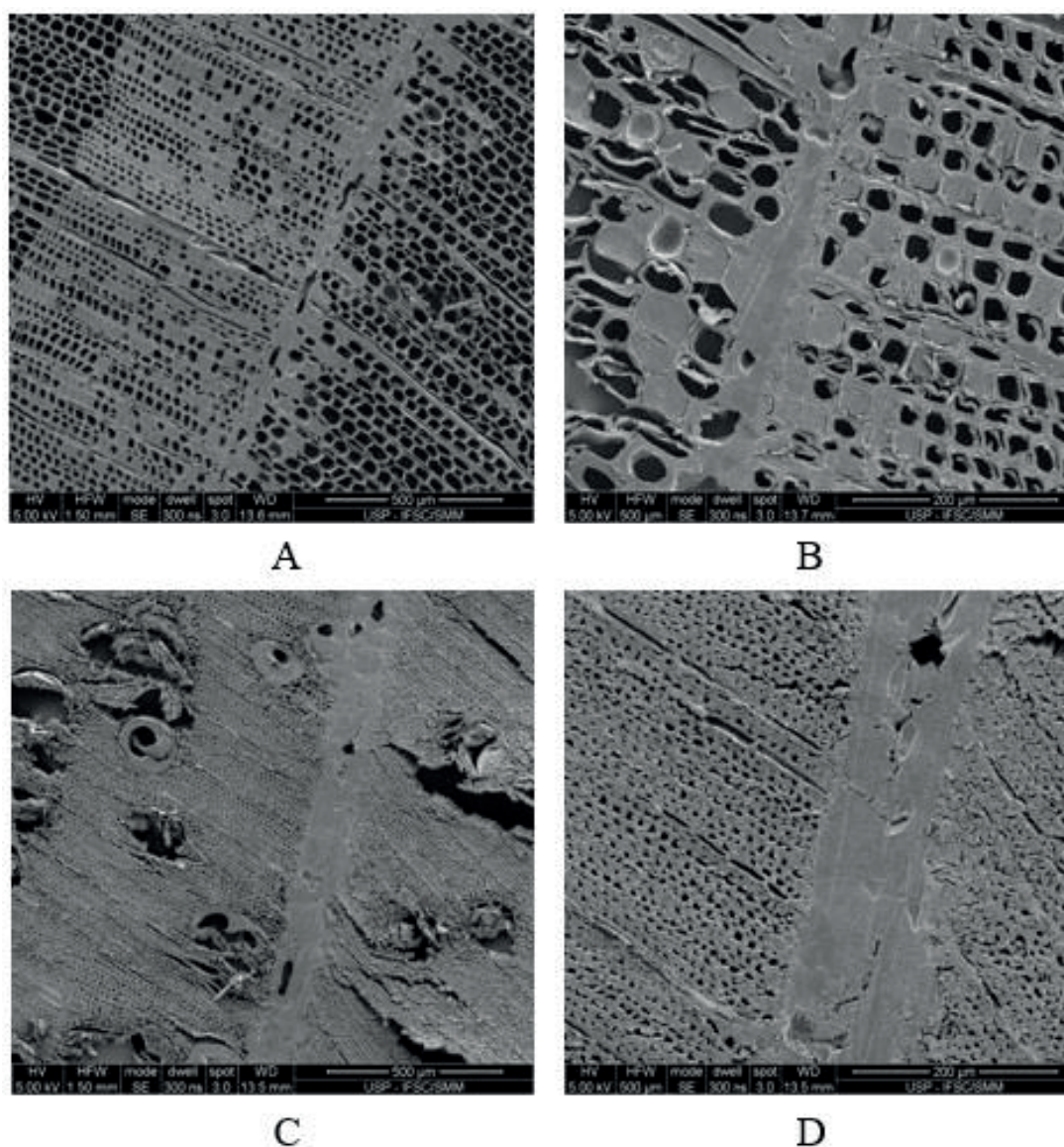
A microscopia eletrônica fornece níveis de magnificação mais elevados e uma maior profundidade de campo do que microscopia óptica (DEDAVID, GOMES & MACHADO, 2007). Essa maior profundidade de campo é necessária para visualizar as superfícies e a linha de adesão, que são importantes no presente estudo (NAGATANI, *et al.*, 1987).

As Figuras 4 (A) e 4 (B) apresentam as imagens obtidas com o microscópio eletrônico de varredura, da Lâmina 2, referente à amostra 2, madeira de *Pinus sp*, colada com adesivo Jowapur[®], sem tratamento químico, enquanto as amostras 4 (C) e 4 (D) apresentam as imagens obtidas com o microscópio eletrônico de varredura, da madeira de *Lyptus*[®], colada com adesivo Jowapur[®], sem tratamento químico.

Nas Figuras 4 (A) e (B) observa-se o limite da camada de crescimento, do lado esquerdo da linha adesiva, onde se dividem os traqueídes iniciais e tardios. A penetração foi mais intensa na região dos traqueídes tardios no lado esquerdo.

A profundidade da penetração na lamela do lado esquerdo da Figura 4 (A) foi estimada em aproximadamente 760 μm . A Figura 4 (B) foi utilizada para estimar a espessura do adesivo em sua fase pura, que foi de 40 μm . Em relação aos raios, o preenchimento foi contínuo até o limite do campo de visão da imagem e foi também possível observar a formação de bolhas como visto anteriormente no microscópio óptico (Figura 3(A) e 3(B)).

Figura 4. Fotomicrografias obtidas com o Microscópio Eletrônico de Varredura para as amostras de *Pinus* e *Lyptus* ambas coladas com Jowapur®. (A) *Pinus*, Região 1 (B) *Pinus*, Região 2 (C) *Lyptus*, Região 1 (D) *Lyptus*, Região 2.



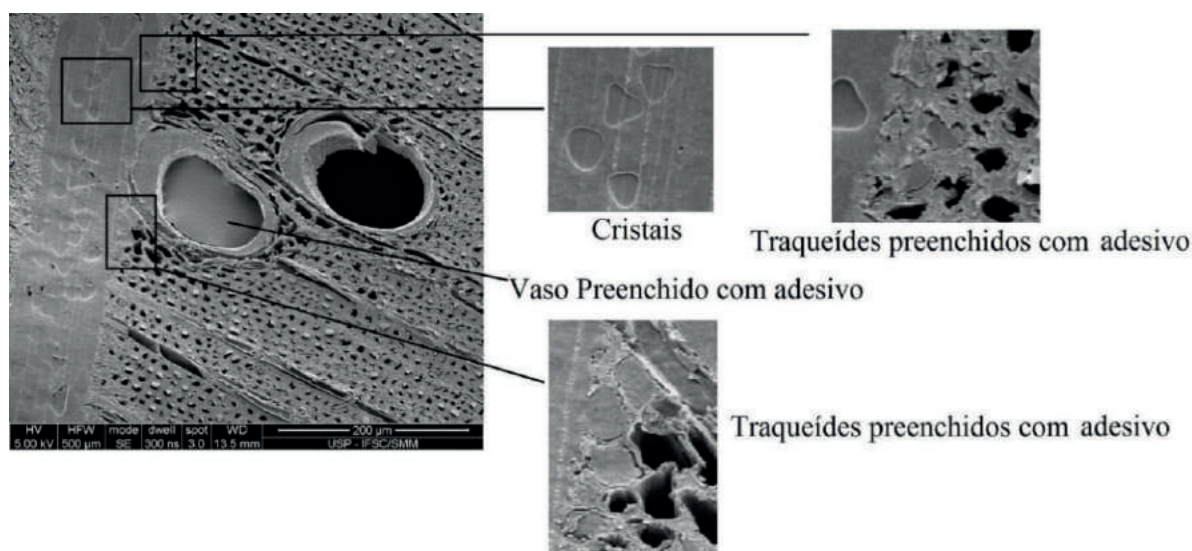
Fonte: Imagem do autor (2020).

As imagens nas Figuras 4 (C) e (D) permitiram identificar que a linha de adesivo em sua fase pura apresentou uma espessura de 100 μm . A penetração do adesivo foi rasa,

conforme pode ser visto na Figura 4 (C). Entretanto, o preenchimento se deu de maneira mais profunda nos raios. As imagens apresentam a formação de bolhas corroborando o que foi observado nas imagens de microscopia óptica.

Também foi possível observar que houve o preenchimento de vasos e a formação de cristais nos detalhes da imagem apresentada na Figura 5.

Figura 5. Ampliação da fotomicrografia obtida por Microscopia Eletrônica de Varredura da Região 2 da amostra de *Lyptus*, apresentada na Figura 4 (D).



Fonte: Imagem do autor (2020).

DISCUSSÃO

Do conjunto de imagens de Microscopia Ótica, apresentadas na Figura 3, pode-se observar duas lamelas de madeira unidas por uma linha adesiva na fase pura localizada na região central, as interfaces, interfases e a penetração do adesivo nas lamelas. O tingimento da amostra possibilitou um melhor ajuste do contraste possibilitando a identificação de bolhas, cristais e de tensões residuais que podem ter origem nos processos químicos, mecânicos ou térmicos de cura do adesivo e prensagem das vigas.

A penetração mais intensa na região dos traqueídes tardios observadas no lado esquerdo das imagens de MEV, pode ter ocorrido devido a duas possibilidades. A primeira pode ser atribuída ao fato de que, no momento da prensagem, a referida lamela estava na parte inferior, então a gravidade teria influenciado no escoamento do adesivo neste sentido. A segunda possibilidade, pode ocorrer devido aos traqueídes iniciais que apresentam paredes mais finas, porém lignificadas, ou seja, mais rígidas por desempenharem a função de sustentação do lenho (CUTLER et al., 2011). Portanto, a penetração do adesivo nessas estruturas é dificultada ao contrário do que ocorre nos traqueídes tardios.

CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

As linhas adesivas produzidas pela ligação entre os adesivos e as madeiras selecionadas foram visualizadas pelas duas técnicas de microscopia podendo-se distinguir o adesivo na estrutura anatômica da madeira. Sendo que os adesivos penetraram além da interface madeira – adesivo, preenchendo as cavidades celulares adjacentes a linha de cola principal.

O uso das técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura mostrou que os resultados de ambas podem ser complementares fornecendo diferentes informações que são obtidas com o uso de cada uma.

O tingimento das amostras facilitou a visualização das imagens na microscopia óptica e foi bastante útil na análise de tensão residual do adesivo, formação de cristais e bolhas do adesivo. Por outro lado, as imagens de MEV foram úteis para a análise da penetração do adesivo e na observação de bolhas.

■ REFERÊNCIAS

1. AHMAD Z., ANSELL M.P., SMEDLEY D. Epoxy adhesives modified with nano- and micro-particles for in situ timber bonding: effect of environment on mechanical properties and moisture uptake. *Journal of Engineering Materials and Technology*. 132(3), 031016, 2010. Doi 10.1115/1.4001836
2. BRADY, D.E.; KAMKE F.A. Effects of hot-pressing parameters on resin penetration *Forest Products Journal* V. 38, p. 63-68, 1988.
3. BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
4. CAVALHEIRO, R.S. Madeira Laminada Colada de *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá): Combinação Adesivo/tratamento preservante. 2014. 103p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. DOI 10.11606/D.18.2014.tde-07102014-143850. Acesso em: 2020-10-25.
5. CAVALHEIRO, R.S. Aplicação de diferentes técnicas de microscopia para análises da região adesiva em madeira lamelada colada (MLC). 2018. 190p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. DOI 10.11606/T.18.2018.tde-26092018-102603. Acesso em: 2020-10-25.
6. CHAHUD, E.; LAHR, F.A.R.; PERES, R.R.R. O Uso de Espécies Nativas Comercializadas em Belo Horizonte na Composição de Madeira Laminada Colada. *Construindo*, V. 1, p. 46-49, 2009.
7. CUTLER, D.F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D.Wm. *Anatomia Vegetal: uma abordagem prática*. Porto Alegre: Artmed 2011, 304p.
8. DEDAVID, B.A.; GOMES, C.I.; MACHADO, G. *Microscopia Eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras*. Porto Alegre: Edipucrs, 2007. 60p.
9. FRIHART, R.C. Wood Adhesion and Adhesives. In: ROWELL, M. R. *Handbook of wood chemistry and wood composites*, Cap. 9. Boca Raton: CRC Press, 2005.

10. HELLMEISTER, J.C. Sobre a determinação de características físicas da madeira. 1973. 161p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1973.
11. JOWAT AG Jowat News Polyurethane adhesives with certificates. April 2005. Disponível em: https://www.powerbond.co.uk/_images/_attachments/second/252_2.pdf Acesso 2020-10-25.
12. KAMKE, F.A.; LEE, J.N. Adhesive penetration in wood—a review. *Wood and Fiber Science* v.39, p.205–220, 2007.
13. NAGATANI, T.; SAITO S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. *Scanning Microscopy*. v.1, p. 901-909, 1987.
14. OLIVEIRA, J.T.S. Características da madeira de Eucalipto para a construção civil. 1997. 429p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. <https://repositorio.usp.br/item/000949259>. Acesso 2020-10-25.
15. PARIS, J.L.; KAMKE, F.A. Quantitative Wood-adhesive penetration with X-ray computed tomography. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, v.61, p.61-80, 2015.
16. PIZZI, A. *Wood adhesives: Chemistry and Technology*, v. 1, New York: Marcel Dekker, 1983.
17. PIZZI, A.; MITTAL, K.L. *Wood adhesives*. Boston: CRC Press, 2011.
18. RAKNES, E. Durability of Structural Wood adhesives after 30 years ageing. *European Journal of Wood and Wood Products*, Berlin, v.55, p.83-90, 1997
19. SERNEK, M.; RESNIK, J.; KAMKE, F.A. Penetration of liquid urea-formaldehyde adhesive into beech wood. *Wood and Fiber Science*, v.31, p.41-48, 1999.
20. SZÜCS, C.A. *Madeira Laminada Colada: Aplicação Estrutural da Madeira sob a Técnica do Laminado Colado*. Florianópolis: UFSC, 1992.
21. SZÜCS, C.A.; VELLOSO, J.G. Uma experiência de apoio científico e tecnológico para o em estruturas de madeira. In: IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Cuiabá. Proceedings. Cuiabá: UFMT, 2004. p. 1-10.

“

Caracterização do perfil das serrarias do município de Juína, estado de Mato Grosso

▮ Mainara Gonçalves **Nogueira**
UNEMAT

▮ Wescley Viana **Evangelista**
UNEMAT

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo caracterizar o perfil das serrarias situadas no município de Juína, que é um polo madeireiro localizado na região noroeste do estado de Mato Grosso. Para isso, foi aplicado um formulário específico em dezessete serrarias presentes no município, contendo quatro temas principais, relacionados as matérias-primas usadas, estruturas e máquinas, método de produção e origem da empresa e produção e aproveitamento dos resíduos. O formulário foi aplicado através de uma entrevista pessoal com os proprietários ou responsáveis pelas serrarias. Os resultados mostram que as serrarias são formadas, em sua maioria, por microempresas, com instalações simples na visão dos entrevistados. A matéria-prima usada é basicamente de espécies florestais nativas, originada de áreas próprias de manejo florestal sustentável, como também disponibilizadas por terceiros. O principal mercado consumidor de madeira serrada é o mercado interno, sendo as regiões Sul e Sudeste os principais destinos. A maior destinação dos resíduos gerados é para queima em caldeiras para a geração de energia. As serrarias do município de Juína apresentam certas similaridades, bem como diferenças entre si quanto a produtividade, realizando o desdobro de diversas espécies florestais, sendo o cedrinho a espécie mais usada e a mais preferível pelos clientes dessas serrarias.

Palavras-chave: Indústria Madeireira, Madeira Nativa, Cedrinho, Resíduos de Madeiras.

INTRODUÇÃO

A serraria é um tipo de indústria responsável pela transformação da madeira roliça em madeira serrada ou da própria madeira serrada em peças beneficiadas. Tudo isso é feito através de técnicas de desdobro ou processamento mecânico, o que permite desde a produção de produtos sólidos diversos, com dimensões e formatos variados, até produtos de maior valor agregado. Os produtos gerados nas serrarias atendem basicamente as indústrias moveleiras e de construção civil.

Segundo Vital (2008), as serrarias são geralmente caracterizadas como indústrias isoladas, de pequeno capital e manejo inadequado (VITAL, 2008). Além disso, são indústrias que podem ter baixo rendimento operacional e produtivo e ampla produção de resíduos. Por serem indústrias mais simples, nas serrarias também existem situações de riscos à saúde que ocasionam eventos de riscos, como acidentes ou doenças, como já registrado por Pignati e Machado (2005) para as indústrias madeireiras do estado de Mato Grosso. Nesse caso, sempre deve ser feito o planejamento prévio das atividades das serrarias, visando máxima eficiência operacional e rendimento em madeira serrada até a manutenção de condições ergonômicas e salubres a todos os seus funcionários.

O sucesso e a viabilidade técnica e econômica de uma serraria dependem de vários fatores. De acordo com Vital (2008), a instalação de uma serraria requer um planejamento prévio, distinguindo o melhor local, com o objetivo de minimizar o custo de mão de obra, de transporte e produção, buscando-se um máximo rendimento em madeira serrada, com geração de produtos de alta qualidade, de forma a se obter competitividade no mercado. Nesse caso é fundamental a localização adequada da serraria, seja esta de grande, médio ou pequeno porte. Ainda segundo o autor, o sucesso econômico de uma serraria depende da escolha do local onde será instalada e de um sistema de transporte adequado, disponibilidade de matéria-prima, mão de obra e energia e da escolha dos equipamentos e das técnicas a serem empregadas no processamento da madeira.

Lopes (2010) destaca o estado do Mato Grosso como sendo dividido em três polos madeireiros principais, sendo eles o de Colniza, Sinop e Alta Floresta. O polo madeireiro de Colniza agrupa os municípios de Juína, Colniza, Nova Bandeirantes, Cotriguaçu, Nova Monte Verde, Tabaporã, Porto dos Gaúchos, Juruena, Aripuanã e Juara. O polo madeireiro de Sinop agrupa os municípios de Marcelândia, Claudia, Sinop, Feliz Natal, Vera, Santa Carmem, União do Sul, Sorriso e São José do Rio Claro. Por fim, o polo madeireiro de Alta Floresta agrupa os municípios Apiacás, Alta Floresta, Itaúba, Matupá, Paranaíta e Guarantã do Norte. Ainda segundo a autora, entre os anos de 2006 a 2010, a exploração em toras

no estado de Mato Grosso alcançou um total de 56,2 milhões de metros cúbicos. Segundo Zaque et al. (2019), entre os anos de 2007 e 2014, o estado de Mato Grosso teve 21,45 milhões de m³ de produtos serrados comercializados, sendo que neste período os produtos mais comercializados em volume e valor foram na forma de viga, tábua e prancha, enquanto que os menos comercializados foram na forma de pranchão, sarrafo e ripa (ZAQUE et al., 2019). No Brasil, as dimensões e o formato desses produtos são estabelecidos pelas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a produção desses produtos serrados na serraria é realizado uma série de operações durante o processamento mecânico da madeira. Inicialmente tem-se o pátio de toras, no qual é feito o descarregamento, armazenamento e estoque de toras. Em seguida, a tora é encaminhada para o processamento mecânico primário ou desdobro primário, onde se realiza a transformação da madeira roliça em peças de madeiras serradas, que podem ter dimensões diversas. O desdobro primário pode ser realizado por engenhos de serra fita, serras circulares ou serras de quadro. Finalmente, a madeira serrada produzida é encaminhada para o processamento secundário, onde se fará o ajuste da madeira serrada para as dimensões comerciais. No desdobro secundário, os equipamentos geralmente utilizados podem ser novamente aqueles usados no desdobro primário, se destacando as operações de resseragem, refilo ou canteagem (diminuição da largura), destopo (diminuição do comprimento) e operações de reaproveitamento (ROCHA, 2001, 2002). Vários tipos de cortes diferentes podem ser adotados para a produção de madeira serrada e produtos sólidos da madeira.

Dentre os parâmetros de uma boa gestão de uma serraria é importante o conhecimento do rendimento em madeira serrada ou coeficiente de rendimento volumétrico (CRV). O rendimento em madeira serrada é determinado pela razão entre o volume obtido de madeira serrada e o volume da tora processada (VITAL, 2008). A determinação do rendimento em madeira serrada é importante para a boa gestão de uma serraria, em especial em regiões onde é forte o comércio de madeira nativa, como no estado de Mato Grosso, visto que os órgãos ambientais sempre realizam fiscalizações, com a intenção de inibir a extração ilegal dessas madeiras.

Com respeito a legislação sobre esse assunto, existe a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2016), de 6 de abril de 2016, que dispõe sobre os procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria. Conforme seu artigo 7º, o CRV é de até 35% para as transformações de toras e toretes em madeira serrada. De acordo com o parágrafo 1º, os empreendimentos

que obtiverem um CRV superior a 35% deverão apresentar estudos técnicos ao órgão ambiental competente, para comprovação técnica da obtenção desse maior CRV. No estado de Mato Grosso a Resolução nº 474 (CONAMA, 2016) já se encontra regulamentada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), através da Instrução Normativa nº 15, de 20 de maio de 2016 (SEMA, 2016).

Durante o desdobro da madeira, vários são os fatores que afetam o rendimento em madeira serrada, conforme relatado por Rocha (2001) e Vital (2008). Rendimentos em madeira serrada de espécies tropicais podem ser maiores que aqueles estipulados por CONAMA (2016) e SEMA (2016), desde que aplicado um bom planejamento de corte nas operações de desdobro na serraria, de forma a proporcionar máximo rendimento e, conseqüentemente, menor geração de resíduos. Segundo Vital (2018), em coníferas, considera-se normal um rendimento em madeira serrada de 55-65%, e, em folhosas, entre 45-55%. A razão dessa diferença deve-se ao fato de as coníferas terem tronco mais cilíndrico, com menos defeitos, e o alburno ser sempre utilizável. Devido a diferença do rendimento em madeira serrada observado por diferentes autores (BRAND et al., 2002; BIASI, 2005; GARCIA et al., 2012; MELO et al., 2016), é importante que cada indústria madeireira tenha conhecimento do seu próprio rendimento em madeira serrada ou CRV, até mesmo para que se conheça a porcentagem de resíduos gerados do desdobro das toras, como também as melhores formas de aproveitamento ou do seu descarte de forma ambientalmente correta.

Os resíduos de madeira originados na serraria são gerados a partir do desdobro das toras. Brand et al. (2002) apud C.T. Donovan Associates INC. (1990) citam que os resíduos provenientes do desdobro da madeira podem ser divididos em três categorias, sendo eles: 1º) Resíduos oriundos dos tratos silviculturais, operações de colheita, durante o manejo florestal e também no processo de conversão da árvore em toras. 2º) Resíduos provenientes de atividades realizadas com a madeira em local específico, como em rodovias, casas, indústrias e comércios. 3º) Resíduos gerados no desdobro primário, como cascas, partículas, topos, costaneiras, pó de serra e serragem. Engloba também os gerados pelas indústrias secundárias como produtos e subprodutos da madeira. Várias formas de aproveitamento de resíduos madeireiros são também descritas por Brand et al. (2002).

De acordo com a Lei Federal 12.305, de 2 de agosto de 2010, que trata sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), as empresas madeireiras devem proporcionar uma orientação final ambientalmente apropriada aos seus resíduos. O Artigo 9º da referida Lei enfatiza que “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Em seu parágrafo

1º é citado que “poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental. ”

Cada serraria tem suas características próprias, que vão desde a matéria-prima (espécies florestais) e maquinários utilizados, produtos sólidos produzidos, geração e aproveitamento de resíduos etc. Por isso se torna importante a caracterização do perfil operacional das serrarias, visando obtenção de máxima produção, menor geração de resíduos e maior retorno financeiro.

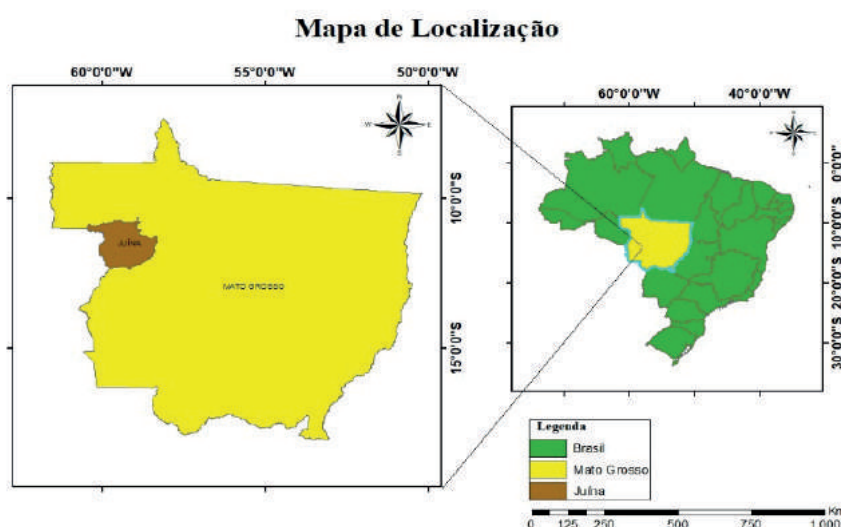
OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar o perfil das serrarias situadas no município de Juína, que é um polo madeireiro da região noroeste do estado de Mato Grosso, de maneira a se conhecer as espécies florestais usadas, maquinários, produtos sólidos produzidos, características do seu mercado consumidor e a geração de resíduos.

MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em serrarias presentes no município de Juína, situado na região noroeste do estado de Mato Grosso (Figura 1). Primeiramente realizou-se um mapeamento das serrarias existentes no município, feito em agosto de 2018, chegando-se ao total de 17 serrarias que estavam em plena atividade comercial, realizando o desdobro de toras e comercializando os produtos gerados. Nesse trabalho considerou-se como serrarias todas as indústrias de processamento mecânico da madeira, que tinham como finalidade o desdobro de toras em madeira serrada ou da própria madeira serrada em novos produtos sólidos ou maciços. Durante o levantamento das serrarias existentes no município foi constatado ainda que, além das 17 serrarias identificadas, duas já haviam sido fechadas e que uma tinha se tornado um depósito de armazenamento de madeira serrada.

Figura 1. Mapa de localização do município de Juína dentro do estado de Mato Grosso.



Para a caracterização do perfil das serrarias foi desenvolvido um formulário específico, contendo perguntas e respostas, que foi aplicado presencialmente junto aos proprietários ou responsáveis diretos pelas serrarias. O formulário era composto de quatro temas, sendo eles as matérias-primas usadas pelas serrarias, estruturas e máquinas, método de produção e origem da empresa e produção e aproveitamento dos resíduos (Figura 2). Na aplicação do formulário junto aos donos ou responsáveis pelas serrarias, as perguntas e as respostas eram lidas ao entrevistado e explicadas, quando necessário. Algumas perguntas do questionário admitiam mais de uma resposta e com isso o somatório das respostas nessas questões poderia ultrapassar 100%. O período de aplicação dos formulários ocorreu no mês de agosto de 2018 e entre janeiro e fevereiro do ano de 2019.

Para a análise dos dados usou-se a estatística descritiva, com a estimativa dos valores médios e representação dos resultados na forma de Gráficos e Tabelas. As análises foram realizadas em planilhas do Excel.

RESULTADOS

Matérias-primas usadas pelas serrarias

Com relação a origem da matéria prima usada pelas serrarias verificou-se que 58,8% utilizavam matéria prima conjugada (de origem própria e obtida de terceiros). A matéria prima era sempre de espécies nativas obtidas de áreas de manejo florestal sustentável, seja próprio ou de terceiros. Em seguida teve-se que 35,3 % das serrarias adquiriam a madeira apenas por meio de compra de terceiros e 5,9 % possuíam áreas de manejo florestal sustentável para o seu suprimento próprio e integral de madeira.

Figura 2. Formulário aplicado nas serrarias do município de Juína – MT.

A- DADOS CADASTRAIS DAS EMPRESAS MADEIREIRAS

Empresa: _____ End.: _____ E-mail: _____ Fone: _____

Entrevistado Sr.(a): _____ Cargo: _____

B- MATÉRIA-PRIMAS UTILIZADAS PELA SERRARIA

1-Em relação a origem da matéria-prima, pode-se dizer que ela é: () Própria () Terceiros () Conjugada:(própria + terceiros).

2-Qual a forma que essa matéria-prima chega a sua empresa? () Em toras () Blocos ou pranchões () Conjugada (Toras + blocos).

3-Qual a região do Brasil de extração das toras ou da origem dos blocos ou pranchões? () Norte () Sul () Nordeste () Sudeste () Centro Oeste () Não sei () Conheço apenas parcialmente.

4-A classificação de qualidade das toras que serão desdobradas segue algum critério específico? () Sim () Não. Se sim, qual o critério utilizado? () Densidade da madeira () Tortuosidade () DAP () Defeitos visuais.() Outros:_____.

5-Quais as espécies florestais (tipos de madeiras) mais utilizadas na produção da madeira serrada? Resposta: _____.

6-O cliente tem preferência por alguma espécie de madeira? () Sim () Não. Se sim, quais as espécies? Resposta:_____.

C- ESTRUTURAS E MÁQUINAS

7-Quais os equipamentos que são utilizados no processo de produção da madeira serrada? () Motosserra () Serra de quadro () Serra Fita () Serra circular () Destopadeira () Plana () Esteira () Refiladeira () Empilhadeira () Afiador de lâminas () Outro equipamento:_____.

8-O (A) senhor (a) julga as instalações da sua empresa como? () Simples: estrutura mais arcaica e com maior uso de trabalho manual. () Tecnológica: com estrutura automatizada.

9-Idade da empresa, em anos: () 0-15 () 16-30 () 31-45 () 46-60 () >60 anos () Não sei.

10-É feita manutenção periódica das máquinas utilizadas? () Sim () Não.

Se sim, qual a frequência dessa manutenção? () Menor que dois meses () De quatro e quatro meses () De seis e seis meses () De nove e nove meses () De doze em doze meses () Maior que doze meses.

11-Se não ocorre manutenção periódica das máquinas, qual é o motivo? Resposta: _____.

12-Nível de desgaste das máquinas para a produção de madeira serrada? () Pouco () Médio () Muito.

D- MÉTODO DE PRODUÇÃO E ORIGEM DA EMPRESA

13-Ocorre a classificação do produto final de acordo com algum critério específico de qualidade? () Sim () Não.

14-Se sim, quais os critérios adotados: _____.

15-O (A) senhor (a) sabe a média de produção mensal de madeira serrada? () Não () Sim.

16-Se sim, qual a quantidade? Resposta: _____.

17-Qual o destino ou uso principal da madeira serrada? Resposta: _____.

18-Depois a produção do produto final (madeira serrada), para qual cidade ela é enviada? Resposta: _____.

19-A serraria foi: () Comprada () Herdada () Implantada () Arrendada () Outros.

20-Quantos funcionários têm a serraria? () Menos que 10 () Entre 10 e 20 () Mais que 20.

21-A empresa é: () Microempresa () Pequena empresa () Média empresa () Grande empresa.

E- PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS

22-Quais tipos de resíduos são gerados? () Cavacos () Costaneiras () Sarrafos () Pó de Serra () Sobras e aparos () Refilos () Topo () Outros: _____.

23-Em que parte do processo ou qual maquinário gera a maior quantidade de resíduos? Resposta: _____.

24-Qual o volume de resíduos gerados por dia/semana/mês? Resposta: _____.

25-Qual o destino dos resíduos? () Doado () Vendido () Reaproveitado () Nada () Outros.

26-Em sua opinião, o seu processo de produção tem grande rendimento volumétrico? () Sim () Não

27-O senhor está satisfeito com a rentabilidade da produção ou com o rendimento de madeira serrada? () Sim () Não.

28-O senhor tem conhecimento da importância do aproveitamento de resíduos em uma empresa? () Sim () Não.

29-O senhor tem interesse em obter conhecimento sobre novas técnicas de reaproveitamento? () Sim () Não.

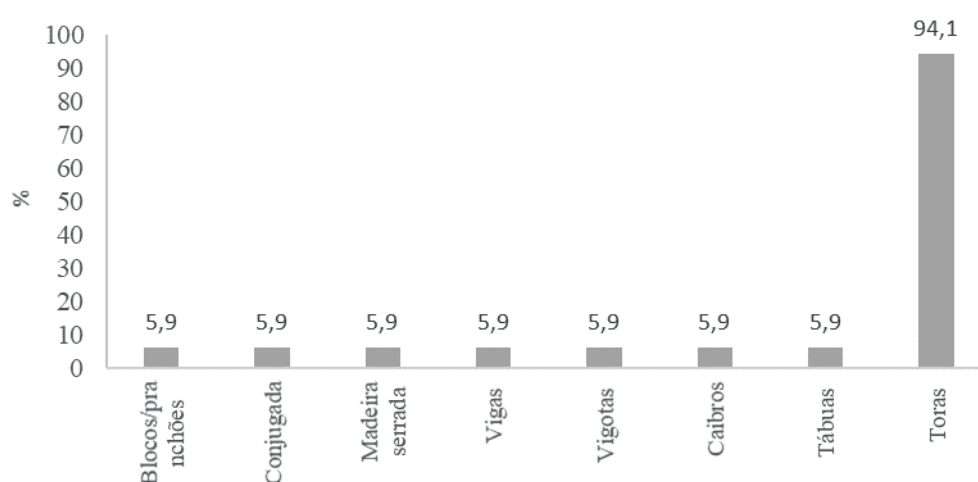
30-A serraria faz o seu próprio aproveitamento de resíduos? () Sim () Não . Se sim, quais as formas de aproveitamento que a sua empresa faz? _____.

31-O senhor tem conhecimento da importância do aproveitamento de resíduos em uma empresa? () Sim () Não.

O senhor tem interesse em obter conhecimento sobre novas técnicas de aproveitamento de resíduos da serraria? () Sim () Não. Se não, por quê? _____.

A grande maioria das serrarias (94,1%) recebiam a madeira em forma de toras. Havia também outras formas de recebimento, como em blocos ou pranchões, de forma conjugada (toras mais blocos), madeira serrada, vigas, vigotas, caibros e tábuas, onde cada um desses itens representa 5,9%. Nesse questionamento, como os entrevistados podiam dar mais uma resposta, o somatório de todas as respostas ultrapassou 100% (Figura 3). Desse modo observou-se que a maioria das serrarias, ao se utilizar toras, necessariamente realizava o processo de desdobro primário para obtenção de seu produto final, nesse caso a madeira serrada.

Figura 3. Formas de recebimentos da madeira pelas serrarias



A região do Brasil de extração das toras ou da obtenção de madeira serrada usada pelas serrarias era oriunda em sua maior parte da região Centro Oeste (88,2%), seguido da região Norte (5,9%). Apenas uma serraria informou desconhecer a região de onde vinha o material usado por ela.

A classificação da qualidade das toras que eram desdobradas seguia alguns critérios específicos, onde 70,6% das empresas informaram que faziam algum tipo de classificação, enquanto 29,4% não se adotavam nenhum critério. Os critérios de qualidade usados pelas serrarias que adotavam este procedimento eram ocorrência de defeitos visuais (64,7%), dimensão do diâmetro a altura do peito (DAP) (41,2%), presença de tortuosidade (35,5%), densidade da madeira (17,3%) e medidas dadas por lei (5,9%). Como os entrevistados podiam dar mais de uma resposta nessa pergunta, o somatório das respostas ultrapassou 100%.

As 19 espécies florestais mais utilizadas na produção de madeira serrada pelas empresas do município de Juína é apresentado na Tabela 1, onde registrou-se que a espécie mais usada era a do cedrinho. Todas os entrevistados relataram o uso dessa espécie nas serrarias. O angelim pedra e a cupiúba eram usados por, pelo menos, a metade das empresas,

com 52,9 %. O cambará (47,1%) e o cumaru (35,5%) também foram citadas pelas indústrias, dentre outras espécies.

Tabela 1. Espécies de madeiras mais usadas pelas serrarias no município de Juína

Espécies	%
Cedrinho	100,0
Angelim pedra	52,9
Cupiúba	52,9
Cambará	47,1
Cumaru	35,3
Jatobá	29,4
Garapeira	17,6
Ipê	11,8
Maria preta	11,8
Tauari	11,8
Peroba mica	11,8
Cedro alagoano	11,8
Maçaranduba	5,9
Catuaba	5,9
Peroba	5,9
Cambará preto	5,9
Itaúba	5,9
Sucupira preta	5,9
Paraju	5,9

A espécie cedrinho é botanicamente identificada com *Erismia uncinatum* Warm. De acordo com Flora do Brasil 2020 (2020), essa espécie é não endêmica do Brasil, tendo ocorrência natural no País nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Maranhão e Mato Grosso. Segundo Zenid (2009), a madeira do cedrinho (*Erismia uncinatum*) é fácil de aplainar, serrar e lixar, mas apresenta superfície de acabamento ruim (felpuda). É de fácil secagem ao ar, sem a ocorrência significativa de defeitos. A secagem em estufa também é rápida, mas em condições muito drásticas podem ocorrer defeitos. A madeira apresenta usos na construção civil leve, como em portas, venezianas, caixilhos, ripas, lambris, painéis, molduras, guarnições, forros etc.

Nas serrarias de Juína as madeiras usadas das diferentes espécies florestais eram processadas conforme a demanda de seus clientes, onde 94,1% das empresas afirmaram que seus clientes tinham preferência por algumas espécies. Dentre as espécies listadas na Tabela 1, os clientes das serrarias tinham mais preferência pelas espécies do cedrinho (64,7 %), cupiúba (41,2%), angelim pedra (35,5%) e cambará (23,5%) (Tabela 2). Observou-se que a madeira do cedrinho, além de ser usada em todas as serrarias avaliadas (Tabela 1),

era também a espécie mais preferível pelos clientes dessas serrarias, segundo os entrevistados. A maioria das serrarias basicamente usavam as mesmas espécies, sendo estas espécies típicas da região do bioma Amazônia. Essas espécies apresentam madeiras com características e propriedades tecnológicas muito apreciadas pelo setor madeireiro.

Tabela 2. Preferência de espécies de madeira pelos clientes das serrarias do município de Juína

Espécies	%
Cedrinho	64,7
Cupiúba	41,2
Angelim pedra	35,5
Cambará	23,5
Cumarú	17,6
Tauari	11,8
Cerejeira	5,9
Peroba	5,9
Ipê	5,9
Jatobá	5,9
Sucupira preta	5,9
Cedro alagoano	5,9
Outras espécies, conforme cliente	5,9

Estruturas e máquinas

Quanto aos maquinários observou-se que 100% das serrarias possuíam serra fita, seguido de motosserra e serra circular, ambos com 94,1% (Tabela 3). Registrou-se também que 100% das serrarias apresentavam uma sala de afiação das lâminas de serras, com equipamentos específicos para essa finalidade.

Tabela 3. Máquinas presentes nas serrarias do município de Juína

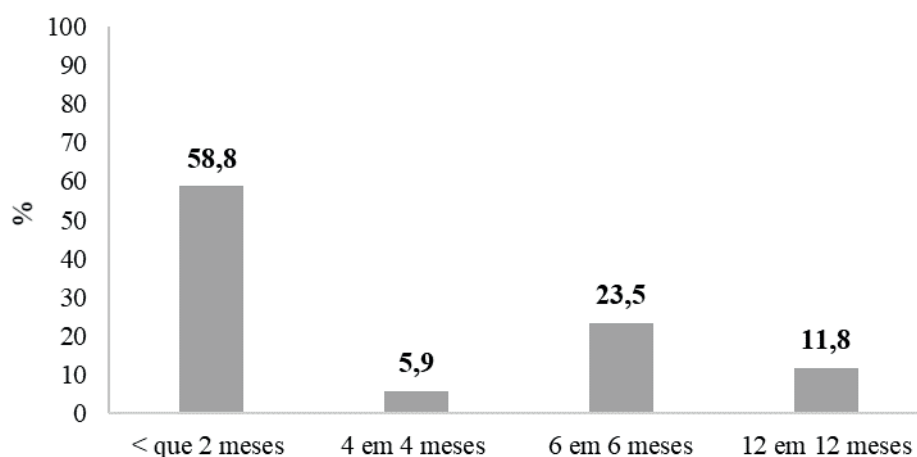
Equipamento	%
Serra fita	100
Motosserra	94,1
Serra circular	94,1
Destopadeira	88,2
Afiador de lâminas	82,4
Plana	70,6
Outros	64,7
Refiladora	47,1
Empilhadeira	47,1
Esteira	41,2
Serra de quadro	5,9

Em relação as instalações das serrarias, na visão dos entrevistados, 64,7 % delas foram caracterizadas como sendo de estrutura simples, mais antiga e com maior uso de trabalho manual, enquanto 35,6 % disseram ser mais tecnológicas, dispondo de uma estrutura mais automatizada.

Com relação a idade média dos maquinários das serrarias, 29,5% das serrarias possuía um maquinário considerado novo por parte dos entrevistados, com idade de uso entre 0 a 10 anos, enquanto 23,5 % apresenta seus maquinários com idade de uso entre 11 e 20 anos e também entre 21 e 30 anos. Apenas 5,9% afirmaram ter um maquinário mais antigo, correspondendo a uma idade de uso de 41 a 50 anos.

A manutenção dos equipamentos/máquinas era feita periodicamente, conforme respondido por 100% dos entrevistados, onde todos afirmaram que tinha um cuidado adequado com seu maquinário. Uma manutenção periódica, inferior a dois meses, era feita por 58,8% das serrarias, enquanto 23,5% afirmavam que a faziam de seis em seis meses (Figura 4).

Figura 4. Período médio de manutenção das maquinas das serrarias do município de Juína



Verificou-se que a maioria das serrarias (64,7%) apresentavam um nível médio de desgaste das máquinas considerado como sendo médio, na visão dos entrevistados das serrarias, enquanto 17,6% afirmaram ter um nível médio de desgaste considerado baixo e os outros 17,6% afirmaram ter um nível de desgaste considerado alto.

Método de produção e origem da empresa

Com relação ao método de produção das serrarias, ao final do desdobro primário e secundário, 100% das serrarias utilizavam algum critério específico para classificar a madeira serrada produzida. Dentre os critérios mais adotados estavam a presença de danos por brocas e existência de nós na madeira, ambos em 52,9% das serrarias (Tabela 4). Em seguida, teve-se a presença de rachaduras e trincas, em 41,2%; defeitos visuais, em 29,4%;

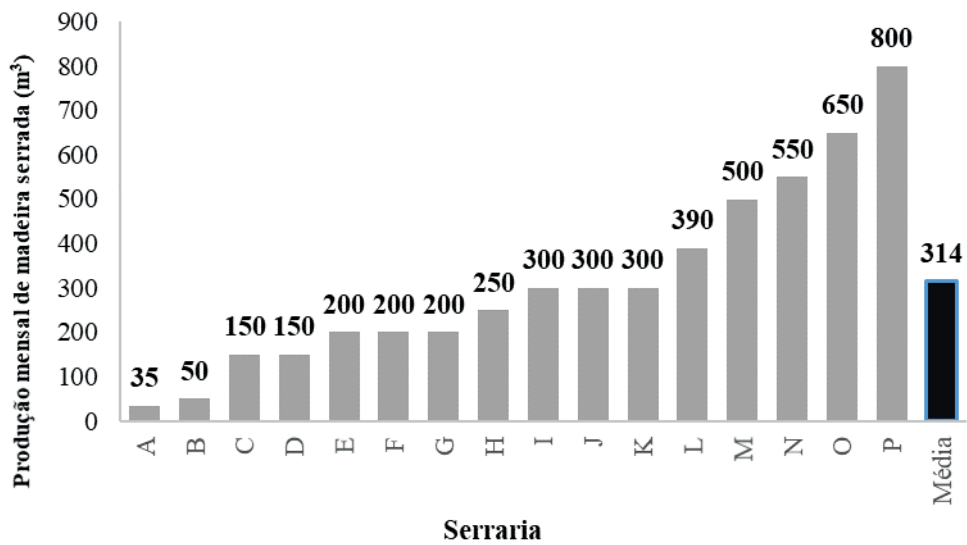
tortuosidade, em 23,5%; dentre outros critérios. Importante destacar que o entrevistado poderia adotar mais de um critério de qualidade ao responder essa pergunta do formulário.

Tabela 4. Critérios específicos de qualidade para classificações da madeira serrada pelas serrarias do município de Juína

Critérios específicos de qualidade	%
Danos ocasionados por brocas	52,9
Presença de nós	52,9
Presença de rachaduras/trincas	41,2
Presença de defeitos visuais	29,4
Tortuosidade nas peças produzidas	23,5
Comprimento das peças	11,8
Exigências feitas pelo cliente	11,8
“Bitola” da madeira	5,9
Presença de casca	5,9
Largura das peças	5,9
Espessura das peças	5,9
Ocorrência de ocos	5,9
Presença de madeira de alburno (brancal)	5,9
Presença de manchas	5,9

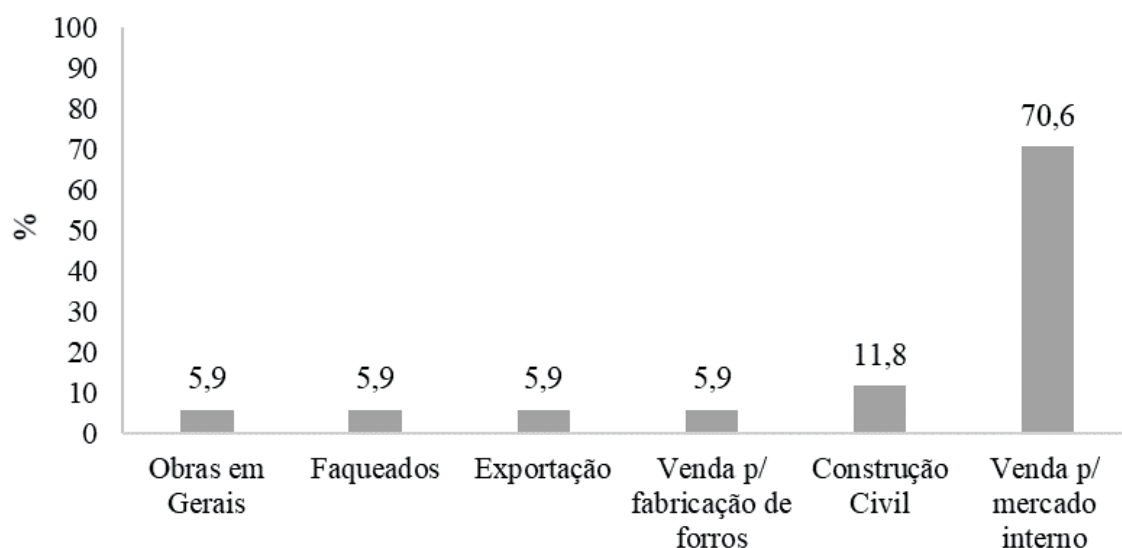
A Figura 5 apresenta o volume mensal de madeira serrada produzida pelas serrarias. Das serrarias avaliadas apenas 5,9 % desconhecia sua produção, enquanto 94,1 % informaram alguma estimativa média da sua produção mensal. Observou-se que existe uma variação da quantidade de madeira serrada produzida, sendo o maior valor registrado de 800 m³ e o menor valor de 35 m³. O valor médio estimado de produção de madeira serrada das serrarias de Juína foi de 314 m³/mês.

Figura 5. Produção mensal de madeira serrada, em m³, das serrarias do município de Juína



Observou-se que 70,6% das indústrias avaliadas tinha como principal destino da madeira serrada a venda para o mercado interno (Figura 6), o qual se baseava no comércio de mercadorias dentro do País, sendo a madeira usada basicamente na fabricação de móveis. Observou-se também que 11,8% eram destinados para a construção civil e 5,9% para outras finalidades.

Figura 6. Destino ou uso principal da madeira serrada comercializada pelas serrarias do município de Juína-MT.



A madeira serrada produzida pelas serrarias de Juína era produzida com dimensões variadas e destinada para vários estados do Brasil (Tabela 5), através da comercialização entre as próprias serrarias e seus clientes. As regiões Sul e Sudeste são os principais destinos dos produtos das serrarias. Importante destacar que da madeira produzida em Juína, 70,6% das indústrias avaliadas tinham como principal destino a venda para o mercado interno, ou seja, a maior parte da produção do município ia para outros municípios e estados dentro do País (Tabela 6), enquanto 11,8% eram destinados para a construção civil; 5,9% para a fabricação de forros; 5,9% para exportação; 5,9% para fabricação de faqueados e 5,9% para obras em gerais (Figura 6). O estado de São Paulo é o que mais contribuía com a compra de madeira serrada, sendo que 76,5% das serrarias afirmaram enviar sua produção para os municípios desse estado; em seguida vinha o estado do Rio Grande do Sul (64,7%), seguido de Santa Catarina (47,1%), Paraná (35,5%), Bahia (29,4%), dentre outros. Importante observar que a região Sul possuía o maior consumo de madeira serrada do município. Havia também o fornecimento de madeira serrada para o próprio estado Mato Grosso, citado por 23,5%, onde as cidades mais citadas de destino final desses produtos foram Campo Novo do Parecis, Cuiabá e Rondonópolis.

Tabela 5. Estados de destino da madeira serrada produzida pelas serrarias do município de Juína

Estados	%
São Paulo - SP	76,5
Rio Grande do Sul - RS	64,7
Santa Catarina - SC	47,1
Paraná - PR	35,3
Bahia - BA	29,4
Espírito Santo - ES	23,5
Mato Grosso - MT	23,5
Minas Gerais - MG	23,5
Distrito Federal - Brasília - DF	11,8
Mato Grosso do Sul - MS	11,8
Acre - AC	5,9
Alagoas - AL	5,9
Amapá - AP	5,9
Amazonas - AM	5,9
Ceará - CE	5,9
Goiás - GO	5,9
Maranhão - MA	5,9
Pará - PA	5,9
Paraíba - PB	5,9
Pernambuco - PE	5,9
Piauí - PI	5,9
Rio de Janeiro - RJ	5,9
Rio Grande do Norte - RN	5,9
Rondônia - RO	5,9
Roraima - RR	5,9
Sergipe - SE	5,9
Tocantins - TO	5,9

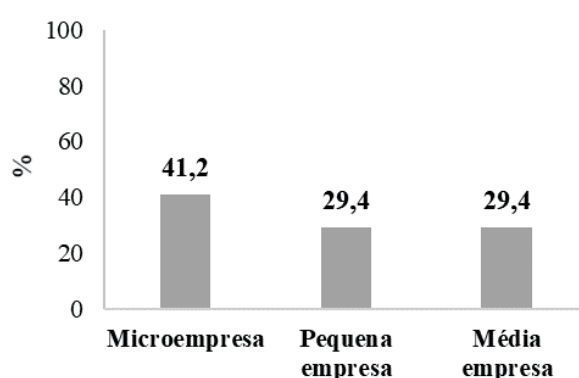
Quanto ao surgimento/implementação das serrarias dentro do município de Juína, 52,9 % dos entrevistados informaram que a serraria foi implantada por seus proprietários atuais, enquanto que 35,3 % relataram ter adquirido a serraria de terceiros, enquanto apenas 11,8 % as haviam arrendado. Deve-se destacar que nenhuma das serrarias avaliadas foram herdadas.

Em relação a quantidade total de funcionários presentes nas serrarias, desde a parte administrativa até os operadores dos equipamentos de desdobro, aproximadamente a metade das serrarias avaliadas (52,9%) afirmaram ter menos que 10 funcionários, enquanto 23,5% tinham entre 10 a 20 funcionários e outros 23,5% possuíam mais que 20 funcionários. Nesse trabalho observou-se que a maior parte dos funcionários estavam alocados na área do processamento mecânico da madeira, enquanto que a parte administrativa da serraria

possuía geralmente entre 2 a 3 funcionários. Em relação a idade média dos funcionários, a faixa etária entre 26 a 35 anos foi a mais citada nas entrevistas, com 52,9%, em seguida a faixa etária de 36 a 45 anos, com 41,2% e por último a faixa de 46 a 55 anos, com 5,9%.

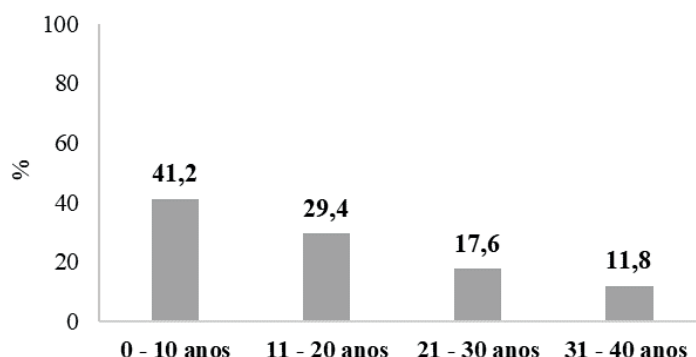
No município de Juína, 41,2% das serrarias eram microempresas, 29,4 % eram empresas de pequeno porte e a mesma porcentagem era formada por empresas de médio porte (Figura 7). Conforme o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2013), considerando apenas o número de funcionários, microempresas são empresas formadas por até 9 empregados, pequenas empresas, entre 10 a 49 empregados e médias empresas, entre 50 a 99 empregados.

Figura 7. Porte das serrarias do município de Juína



Em relação ao tempo que as serrarias estavam atuando no comércio de Juína, 41,2% informaram que estavam lá há menos de 10 anos, 29,4% relataram estar entre 11 a 20 anos, 17,6% estavam entre 21 a 30 anos e 11,8% estavam entre 31 a 40 anos (Figura 8). A maioria das serrarias do município de Juína podem ser classificadas como novas, considerando que o município tinha 37 anos de emancipação no ano de 2019.

Figura 8. Tempo de atuação das serrarias do município de Juína no mercado madeireiro

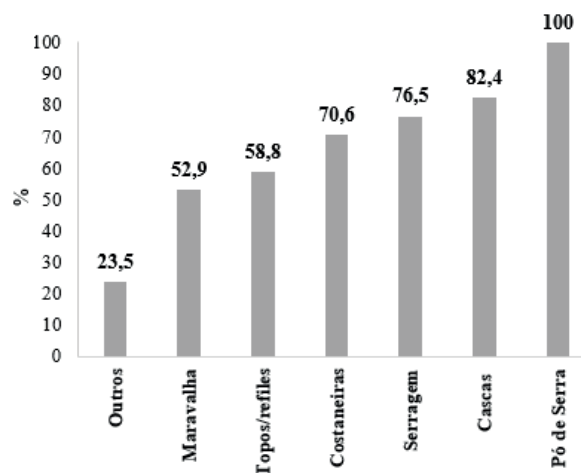


Produção e aproveitamento dos resíduos

Os tipos de resíduos produzidos pelas serrarias no desdobro das toras e da madeira serrada são apresentados na Figura 9. Constatou-se que 100% das serrarias geram resíduos

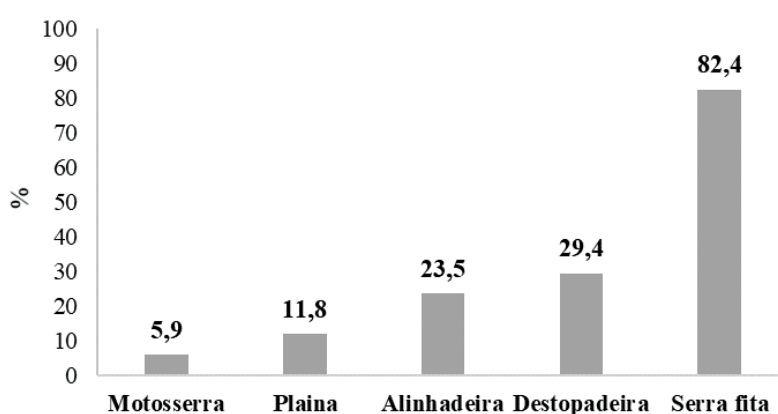
na forma de pó de serra; 82,4% geram na forma de cascas; 76,5% geram na forma de serragem; 70,6% na forma de costaneiras; 58,8% na forma de topos ou refiles; 52,9% na forma de maravalha e por fim 25,5% afirmaram gerar outros tipos de resíduos.

Figura 9. Tipos de resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Juína.



Dentre os equipamentos/máquinas que mais geraram resíduos (Figura 10), 82,4% dos entrevistados informaram que a serra fita como o maior gerador de resíduos, seguido da destopadeira (29,4%), alinhadeira (23,5%), plaina (11,8%) e apenas 5,9% responderam a motosserra. Nas serrarias avaliadas foi observado que a serra fita, por estar presente em todas as serrarias, por ser utilizada no desdobro primário e também por ser o primeiro equipamento onde a tora recebia seus cortes iniciais, possivelmente ficou sendo como o equipamento que mais gerava resíduos de madeira, quando comparado aos demais equipamentos/máquinas.

Figura 10. Equipamentos e maquinários que mais geram resíduos nas serrarias.



Em relação a quantidade de resíduos gerados em determinado período tempo (dia, semana ou mês), 58,8% afirmaram desconhecer o volume de resíduos gerados, abrangendo 58,8 % das serrarias, enquanto que 11,8% afirmaram obter 480 metros estéreos por mês (st/mês), 5,9% informaram que 30% do volume serrado se torna resíduos; 5,9% tinha geração de 100 st/mês, 5,9% com 160 m³/mês; 5,9% com 12 st/mês e 5,9% com 5 m³/dia (Tabela

6). Os valores informados pelos entrevistados são discrepantes entre si, havendo serrarias com alta geração de resíduos, enquanto que em outras essa geração era mais baixa.

Tabela 6. Volume de resíduos gerados pelas serrarias no município de Juína

Volume de resíduos	%
Não sei	58,8
480 st/mês	11,8
30% do volume serrado	5,9
100 st/mês	5,9
160 m³/mês	5,9
12 st/mês	5,9
5 m³/dia	5,9

Com relação a destinação final dos resíduos do desdobro das toras observou-se que 70,6% das serrarias doavam seus resíduos, 41,2% realizavam alguma forma de aproveitamento, 23,5% faziam a sua venda e 17,6% realizam outros usos. Os resíduos doados geralmente eram na forma de pó de serra e maravalha. Na visão de muitos dos proprietários das serrarias, a retirada do pó de serra do pátio das serrarias podia demandar grande custo, fazendo com que o mesmo também pudesse ficar estocado nesse local, aparentemente sem uma destinação final pré-definida. Resíduos na forma de lenha, caracterizado por peças de madeiras de tamanhos variados, eram usados para a fabricação de cavacos, queima para alimentação da caldeira ou destinada para venda a terceiros. Os cavacos são pequenos pedaços de madeira obtidos da picagem de toras, sobras das serrarias e indústrias moveleiras. O seu uso tinha por finalidade servir como matéria-prima para combustível. Resíduos na forma de tocos e aparas também eram aproveitados para queima em caldeiras para a geração de energia. Foi também observado que em grande quantidade de serrarias o pó de serra era armazenado em um pátio.

O aproveitamento de resíduos do tronco, quando efetivamente realizado pelas serrarias (58,8% faziam isso) tinha as seguintes destinações, mostradas na Tabela 7. A maioria das serrarias destinavam seus resíduos para a queima na caldeira para geração de energia ou para resserragem da madeira, para obtenção de produtos na forma de “pré- cortado”, sendo este caracterizado por ser a madeira serrada emparelhada para a fabricação de móveis e estofados, ambos correspondendo a 17,6% cada. Outros 11,8% utilizam seus resíduos para a produção de cavacos.

Tabela 7. Formas de aproveitamento dos resíduos das serrarias do município de Juína

Aproveitamento de resíduos	%
Alimentação da caldeira	17,6
Pré cortado	17,6
Produção de cavaco	11,8
Produção de ripas p/ venda	5,9
Uso da madeira bruta serrada até 2,0 m	5,9
Cabo de vassoura	5,9
Produção de emenda finger joint	5,9

Com relação ao grau de satisfação dos entrevistados quanto a produção de madeira serrada, 82,4% das serrarias avaliadas afirmaram estarem satisfeitos com a sua produção e 17,6% afirmaram não estar. No que se diz respeito a rentabilidade da produção ou com o rendimento em madeira serrada, 52,9% informaram estarem satisfeitos com sua produção, enquanto 47,1% disseram não estarem satisfeitos. Com relação ao conhecimento do cálculo do rendimento em madeira serrada (ou coeficiente de rendimento volumétrico – CRV), 88,2% das indústrias madeireiras asseguraram saber fazer esse cálculo, enquanto 11,8% desconheciam como realizá-lo.

Ainda sobre os resíduos, 94,1% dos entrevistados informaram terem conhecimento da importância do aproveitamento de resíduos em sua empresa, enquanto 5,9% desconheciam essa importância. Em relação ao interesse dos entrevistados em obter conhecimento sobre novas técnicas de aproveitamento de resíduos, 82,4% informaram estarem interessados em obter mais informações e conhecimento sobre o assunto, enquanto 17,6% informaram não ter esse interesse.

DISCUSSÃO

O desdobro de toras nas serrarias do estado do Mato Grosso pode ser oriundo de diversas fontes, desde de planos de manejo florestal sustentável dos próprios proprietários das serrarias, de terceiros ou de outras fontes, conforme observado no presente trabalho. Considerando a origem da matéria-prima, quando esta é madeira nativa, é de suma importância que ela seja oriunda de planos de manejo florestal sustentável. Segundo Andrae et al (2018), o manejo da floresta natural está ligado a sustentabilidade, que por sua vez faz referência com a proteção da natureza e a produção florestal. O manejo racional dos recursos advindos de florestas nativas tem por finalidade a exploração florestal de forma sensata, sob leis rígidas.

Bonissoni (2017) observou que nos municípios de Tapurah e Itanhangá, ambos situados no estado de Mato Grosso, 58% das serrarias avaliadas pelo autor utilizavam toras

provenientes de planos de manejo florestal sustentável obtidos de terceiros, enquanto 25% utilizavam matéria-prima oriunda de diversos fornecedores e apenas 17% alegavam utilizar toras de planos de manejo florestal sustentável próprio. Gorgonha (2015), estudando a origem da matéria-prima usada pelas indústrias madeireiras do município de Nova Maringá, Mato Grosso, verificou que 60% delas obtinham sua matéria-prima de florestas nativas manejadas em propriedades de terceiros, enquanto 40% das indústrias possuíam seu plano de manejo florestal sustentável próprio, valor este superior ao observado no presente estudo. Santos et al. (2012) destacam, entretanto, que nas indústrias madeireiras do município de Alta Floresta, Mato Grosso, a origem das toras consumidas era de florestas nativas de terceiros, com 87,5%, sendo que somente 12,5% advinham de planos de manejo florestal sustentável próprios. Instituto Floresta Tropical (2010) relatou que no município de Cotriguaçu, Mato Grosso, 33% dos empresários do setor madeireiro realizavam a exploração florestal por meio de manejo florestal próprio, enquanto 66% obtinham matéria-prima proveniente de áreas de manejo florestal de terceiros.

A classificação visual da qualidade das toras a serem desdobradas era adotado nas serrarias de Juína. Esse critério é importante, pois tende a influenciar no rendimento em madeira serrada, uma vez que o sistema de desdobro a ser aplicado sobre as toras é também em função de sua qualidade visual. A grande maioria das serrarias de Juína (70,6%) das empresas informaram que faziam algum tipo de classificação da matéria-prima antes do desdobro, enquanto 29,4% não se adotavam nenhum critério. Importante destacar que a classificação visual de qualidade da madeira serrada produzida era também realizada nas serrarias de Juína, mas, nesse caso, em 100% delas. Garcia et al. (2012), avaliando o rendimento no desdobro em toras de itaúba (*Mezilaurus itauba*) e tauari (*Couratari guianensis*) em uma indústria madeireira no município de Novo Mundo, Mato Grosso, observaram que para a espécie tauari, a qualidade das toras influenciou significativamente no rendimento, entretanto o mesmo não ocorrendo para a espécie itaúba.

Conforme verificado nesse trabalho, nos anos de 2018 e 2019, as espécies mais usadas nas serrarias foram o cedrinho, angelim pedra, cupiúba e cambará, todas citadas por pelo menos 45% dos entrevistados. Essas espécies são também registradas como de uso no estado de Mato entre 2004 a 2014, conforme Lopes (2010), Ribeiro et al. (2016) e Zaque et al. (2019).

Ribeiro et al. (2016) relatam que as espécies florestais mais comercializadas no estado de Mato Grosso especificamente entre os anos de 2006 a 2010, que corresponderam a 88% do comércio madeireiro da região, foram as espécies de cambará (*Qualea* sp.), cupiúba (*Goupia glabra* Aubl), cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm), itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub ex Mez), angelim (*Hymenolobium* sp.), garapeira (*Apuleia* sp. (J. Vogel)), maçaranduba

(*Manilkara elata* (Allemão ex. Miq.), freijó (*Cordia goeldiana* Huber), cumbaru (*Dipteryx* sp.) e amescla (*Trattinickia* sp.). Zaque et al. (2019) registraram que entre o período de 2007 a 2014 as espécies florestais mais comercializadas no estado de Mato Grosso foram cedrinho (*Erisma uncinatum*), cambará (*Qualea* sp.), cupiúba (*Goupia glabra*), itaúba (*Mezilaurus itauba*), angelim (*Hymenolobium* sp.), garapeira (*Apuleia* sp.), amescla (*Trattinnickia* sp.) e cambará-rosa (*Vochysia* sp.), com 10,42 milhões de metros cúbicos (48,60% do volume total) no período avaliado. Essas espécies também foram observadas como as mais consumidas pelas indústrias madeireiras em alguns municípios específicos do estado de Mato Grosso, conforme observado por Gorgonha (2015) e Bonissoni (2017).

As madeiras registradas nesse trabalho como de uso no município de Juína, bem como aquelas citadas por Lopes (2010), Gorgonha (2015), Ribeiro et al. (2016), Bonissoni (2017) e Zaque et al. (2019), são consumidas e processadas no estado de Mato Grosso, além de apresentarem usos variados. Os usos específicos dessas madeiras podem ser vistos em Zenid (2009). Destaque deve ser dada a madeira do cedrinho, que além de ser usada por todas as serrarias de Juína, era também a preferível por seus clientes, segundo os entrevistados ouvidos nesse trabalho.

Com relação a estrutura da serraria, verificou-se neste trabalho que a maioria dos entrevistados considerou que suas serrarias eram de estrutura simples, mais antiga e com maior uso de trabalho manual. No Brasil, as serrarias são geralmente indústrias mais simples e menos automatizadas. Segundo Vital (2008), as serrarias são, frequentemente, indústrias isoladas, com pequeno capital e manejo inadequado, além de empregarem equipamentos em mau estado de conservação e obsoletos. O estado de conservação dos equipamentos faz com que algumas serrarias sejam mais produtivas, ao passo que outras são ineficientes e antieconômicas, e geram uma grande quantidade de subprodutos.

Segundo Vital (2008), a avaliação do rendimento de uma serraria pode ser calculada pela razão entre o volume de madeira serrada e o volume de toras, ambos em m³, sendo o resultado expresso em porcentagem. Em coníferas considera-se normal um rendimento de 55-65% e, em folhosas, entre 45-55%. A razão dessa diferença deve-se ao fato de as coníferas terem tronco mais cilíndrico, com menos defeitos, e o alburno ser sempre utilizável. Segundo Rocha (2001), o rendimento em madeira serrada está diretamente relacionado com as características da matéria-prima utilizada. Toras mais tortuosas ou de formato irregular são potencialmente geradoras de maior quantidade de resíduos. Dentre as principais características responsáveis pela perda de rendimento estão a medula excêntrica, grande quantidade de nós, conicidade e bifurcação (ROCHA, 2001). Importante destacar que existem outras variáveis importantes que afetam também o rendimento em madeira serrada, como a espessura da lâmina de serra usada; capacitação, habilidade e qualificação da mão-de-obra

usada; manutenção adequada do maquinário e lâminas, dentre outras. Além disso, toras com menor conicidade, maiores diâmetros e comprimentos podem obter melhor rendimento em madeira serrada.

Para uma serraria é importante o conhecimento do seu rendimento e eficiência, bem como a geração de resíduos madeireiros. Neste trabalho, embora não se tenha perguntado o valor médio do rendimento em madeira serrada das espécies de madeiras desdobradas, a maioria dos entrevistados presentes em Juína estava satisfeito com a rentabilidade da produção (52,9%) ou com o rendimento de madeira serrada (82,4%). Em uma serraria é sempre importante que o rendimento em madeira serrada seja alto, pois aumenta os lucros da serraria e diminui a geração de resíduos. No estado de Mato Grosso, quando o rendimento em madeira serrada ou CRV é superior a 35% é necessário apresentar o estudo técnicos ao órgão ambiental competente, para comprovação técnica da obtenção desse maior CRV, conforme SEMA (2016) e CONAMA (2016).

Com relação aos equipamentos/máquinas usadas no processamento mecânico da madeira no estado de Mato Grosso, Bonissoni (2017) registrou nos municípios de Tapurah e Itanhangá, em um total de 10 serrarias, que 31% utilizavam a serra fita, 24% a destopadeira e a serra circular, 18% as refiladeiras, enquanto 3% usavam a desempenadeira. Instituto Floresta Tropical (2010) apontou que os equipamentos primários de processamento de madeira em tora que compunham as serrarias do município de Cotriguaçu, entre 2009 a 2010, eram serras fita, plainas, tornos laminadores e faqueadeiras, além de serras circulares, serra múltiplas etc. Os equipamentos registrados por Instituto Floresta Tropical (2010) e Bonissoni (2017) foram também registrados nesse trabalho para as serrarias de Juína, os quais são também geralmente observados em qualquer serraria do estado de Mato Grosso.

Durante o processamento mecânico das toras em produtos sólidos por meio de lâminas de serras, os equipamentos/máquinas naturalmente usados sofrem desgaste. Isso ocorre devido ao esforço que a lâmina é submetida no momento em que é feito o corte, bem como pelo tempo de uso da máquina, pela espécie da madeira usada, bem como pelas formas de desdobro adotadas. Equipamentos/maquinário com manutenção adequada e com base estado de conservação aumentam a eficiência das serrarias, permitindo maior produção volumétrica de produtos sólidos. Nas serrarias de Juína avaliadas, todos os entrevistados afirmaram realizar manutenção periódica do seus maquinários.

Biasi (2005) afirma que dentro dos aspectos tecnológicos a serem considerados no controle de qualidade das operações das serrarias destaca-se a manutenção permanente das máquinas. As lâminas das serras devem estar em ótimas condições, além do uso de uma mão de obra qualificada para a manutenção e afiação das lâminas das serras, a fim de proporcionar um ótimo desempenho mecânico.

Ainda relacionado ao desdobro das toras, todas as serrarias de Juína utilizavam algum parâmetro de classificação da madeira serrada produzida. Importante destacar que esse tipo de classificação também ocorria para as toras antes do desdobro. Os critérios mais citados pelos entrevistados eram presença de danos por brocas, existência de nós na madeira e ocorrência de rachaduras e trincas. A prática da classificação da madeira serrada produzida é importante, de maneira que esse produto obtenha maior valor agregado no mercado.

Segundo Pfeil e Pfeil (2017), a classificação por inspeção visual, para fins de uso da madeira na construção civil, é feita por técnicos habilitados que detectam visualmente a incidência de defeitos nas quatro faces de cada peça. Os aspectos mais importantes a serem observados nesse caso são a presença de nós, de fibras reversas, fendas, manchas, abaulamento, arqueadura e porcentagem de madeira de madeira de verão (lenho inicial) na seção transversal. Ainda segundo os autores, a classificação por inspeção visual tem a vantagem de ser um sistema econômico, que não depende de equipamentos. Por outro lado, pode ser subjetivo e ineficaz, por não acessar a estrutura interna da madeira, por exemplo, os nós internos.

Com o desdobro realizado pelas serraria, inúmeros produtos sólidos de madeira podem ser obtidos, principalmente voltados para a indústria moveleira e construção civil. Bonissoni (2017) apud SEFAZ (2015) cita os produtos que podem ser obtidos do processamento das toras de madeiras. São eles a própria madeira in natura, na forma de toras; madeira serrada na forma de bloco de filé, pranchas, tábuas, vigas, caibros, ripas, sarrafo, ripão, régua, pontaletes, barra de cama não beneficiada, aproveitamento pré-cortado, balancis para cerca, lascas, mourão palanque, poste e outros; e madeira beneficiada, na forma de portas, janelas, casas pré-fabricadas, cabos de vassoura, cabos para ferramentas torneados, assoalhos, deque, forro, parede, lambril, barra de cama beneficiada, jogos de batentes e portais, cruzetas, cantoneira, rodapé, molduras, taco liso, paletes, pré-cortados, dormentes, madeira laminada faqueada ou torneada, madeira compensada e laminada, entre outros. Zaque et al. (2019) registraram que os produtos que apresentaram os maiores volumes de produção e comercialização no estado de Mato Grosso, entre 2007 e 2014, foram a tábua, viga e prancha, que representaram juntas 57% do valor das principais espécies comercializadas; já o pranchão, sarrafo, viga, vigota e caibro obtiveram 13% do valor das principais espécies comercializadas.

O tipo do produto final a ser obtido nas serrarias também depende da qualidade da matéria prima, da espécie florestal, do diâmetro das toras, bem como da demanda dos próprios clientes, dentre outros fatores. Nessa etapa é necessário que a mão-de-obra usada no processamento mecânico esteja devidamente qualificada para que sejam tomadas as decisões corretas de corte da madeira, de maneira a otimizar o desdobro e maximizar o rendimento.

Conforme dados coletados com todos os entrevistados que conheciam a produção média mensal de madeira serrada (94,1% das serrarias), registrou-se no município de Juína uma produção média mensal de 314 m³/mês, variando de empresas com produção de 35 m³/mês a 800 m³/mês. Para Rocha (2002), a classificação do porte de uma serraria leva-se em consideração que micro serraria produz menos de 10 m³/dia madeira serrada; uma serraria de pequeno porte, de 10 m³/dia até 50 m³/dia de madeira serrada; de médio porte, entre 50 m³/dia até 100 m³/dia madeira serrada; de grande porte, uma produção maior que 100 m³/dia de madeira serrada. Considerando a classificação proposta por Rocha (2002), as serrarias de Juína podem ser classificadas como micro e pequeno porte.

Em Juína, grande parte da produção das serrarias estava destinado ao mercado interno, sendo eles municípios do próprio estado do Mato Grosso e de outros estados. Instituto Floresta Tropical (2010) relatou que no município de Cotriguaçu, Mato Grosso, nos anos de 2009 e 2010, a maior parte da produção madeireira foi destinada a região Sudeste, em especial nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Robert et al. (2012), fazendo a caracterização do abastecimento de madeira serrada comercializada em Florianópolis, estado de Santa Catarina, registraram o estado de Mato Grosso era o maior fornecedor de madeira serrada de espécies nativas, seguido dos estados do Pará, Rondônia e Acre. Delmiro (2015), estudando a destinação final da madeira serrada produzida em Alta Floresta, Mato Grosso, mostrou que os produtos produzidos eram também enviados para as regiões Sul e Sudeste, sendo os 60% da produção destinados para o estado de São Paulo, 40% para o Rio de Janeiro, 20% para Santa Catarina, 10% para Minas Gerais e 10% para o Rio Grande do Sul.

Com relação a geração de resíduos nas serrarias de Juína, os tipos mais gerados foram na forma de pó de serra, cascas, serragem, costaneiras, topos ou refiles e maravalha. A geração de resíduos madeireiros em qualquer serraria ocorre basicamente nas etapas de desdobro, quando a madeira é submetida aos cortes.

Bonissoni (2017), avaliando a produção de resíduos em serrarias nos municípios de Tapurah e Itanhangá, estado do Mato Grosso, observou que 35% das serrarias geravam pó de serra, 31% geram costaneiras, 17% geram cavacos e cascas, 10% geram serapilheira e apenas 7 % geram maravalhas. Nas serrarias de Juína, a maior geração de resíduos era na forma de pó de serra, cascas, serragem, costaneiras, topo/refiles e maravalhas, todos estes citados em pelo menos 50% das serrarias avaliadas.

Registrou-se nesse trabalho que a serra fita foi o equipamento que mais gerava resíduos em Juína, sendo citado por 82,4% dos entrevistados. O mesmo foi observado por Bonissoni (2017), que registrou que 90% das serrarias nos municípios de Tapurah e Itanhangá, Mato Grosso, consideraram a serra fita como o equipamento que mais gerava resíduos durante o de desdobro, seguido pela serra circular, citado por 10%. Melo et al. (2016), ao analisar a

influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada da espécie cambará (*Qualea* sp.) em uma serraria do município de Sorriso, Mato Grosso, relataram uma elevada produção média de resíduos, chegando a 47,82%. Segundo os autores, a transformação de toras em tábuas, pranchas, vigas ou outras peças de madeira implica em diferentes quantidades de perdas, podendo variar de acordo com os fatores que influem no seu volume, sejam eles a natureza da matéria-prima, a eficiência das máquinas empregadas pela indústria e as exigências do mercado.

Em geral, os fatores que influenciam a produtividade de uma serraria também estão relacionados com a geração propriamente dita de resíduos, o volume e tipos de resíduos, além das possíveis formas de aproveitamento desse material, sendo necessário o conhecimento adequado desses fatores para que haja uma maior otimização do desdobro. Um bom planejamento da metodologia de desdobro das toras, associado ao uso de mão-de-obra qualificada, dentre outros fatores, faz com que o rendimento em madeira serrada seja alto e a geração de resíduos seja mínima.

A geração de resíduos é uma etapa que sempre ocorrerá no desdobro das toras em uma serraria. Dependendo da forma e das dimensões dos resíduos madeireiros, estes podem ser aproveitados de diferentes maneiras, aumentando o lucro e diminuindo as despesas das serrarias. Nas serrarias de Juína, 58,8% realizavam alguma forma de aproveitamento dos resíduos, o que é sempre recomendável para as indústrias madeireiras. As formas de aproveitamento mais citadas eram a geração de energia pela queima direta, produção de novos produtos na forma de “pré-cortado” e produção de cavacos.

As serrarias do município de Juína trabalhavam com muitas espécies nativas, que apresentavam variadas propriedades organolépticas e tecnológicas. Com isso é importante a busca por maneiras de agregar valor aos resíduos, transformando-os em novos produtos sólidos ou destinando-os para novas utilizações, como a queima para geração de energia, entre outros. O aproveitamento dos resíduos sempre traz benefícios, desde para a própria indústria até mesmo a terceiros que os comprem ou que os recebem na forma de doação, os quais também podem dar novas destinações, podendo gerar empregos, além da conservação do meio ambiente e incentivos na obtenção mais de renda para as empresas e recolhimento de impostos para o devido município.

Brand et al. (2012), citando outros autores, relatavam as várias formas de aproveitamento de resíduos florestais ou madeiráveis. Além de serem utilizados para a geração de energia de diversas formas como queima direta, produção de briquetes de madeira e carvão, produção de briquetes de carvão e pellets; além pode também ser utilizados de várias outras maneiras como na fabricação de pequenos objetos e utensílios tais como brinquedos, artigos de copa/cozinha, cabos de ferramentas, artigos desportivos, decorativos e de recreação;

produção de chapas de partículas de diferentes composições; cama para aviários, currais e estábulos; compostagem para adubação e complementos orgânicos para o solo; produção de fibras para diversos fins tais como chapas, isolamento termoacústico, papel, papelão; produção de pacotes para contenção de encostas; obtenção de matéria-prima para a indústria de tintas, vernizes, corantes, adesivos, indústria alimentícia e solvente através da extração de voláteis etc. ou ainda no paisagismo de jardins. O resíduo gerado em serrarias é uma importante matéria-prima em forma de partículas para a produção de polpa e produtos como chapas de partículas. É efetivamente usado como matéria-prima em plantas de produção de combustíveis de madeira, como cama para cultivo de cogumelos.

Estudos realizados por Bonissoni (2017) em serrarias de Tapurah e Itanhangá, estado de Mato Grosso, mostraram que a maior parte das empresas (37%) realizavam a venda dos resíduos para fins energéticos, 32% doavam para terceiros, 26% deixavam os resíduos armazenados nos pátios das empresas e somente 5% das indústrias realizam a queima desses resíduos com a finalidade de gerar energia. Instituto Floresta Tropical (2010) observou que no município de Cotriguaçu, a principal fonte de energia para alimentação de caldeiras a vapor para fornecimento de calor a estufas de secagem de madeira é proveniente de resíduos madeireiros.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que o município de Juína apresenta a maioria das suas serrarias relativamente recentes, em sua maioria com menos de 10 anos de atuação nesse setor. A maioria das serrarias são caracterizadas como microempresas, sendo também serrarias de micro e pequeno porte. A matéria prima utilizada usada maioria das serrarias é obtida de origem própria e obtida de terceiros (58,8%), sendo a madeira basicamente oriunda de áreas próprias de manejo florestal sustentável. Dentre as várias formas em que a matéria-prima chega as serrarias, grande parte das indústrias (94,1 %) recebem a madeira em forma de toras. As serrarias do município de Juína apresentam certas similaridades, bem como diferenças entre si quanto a produtividade, realizando o desdobro de diversas espécies florestais. A madeira mais usada pelas serrarias, bem como a preferível por seus clientes, é da espécie cedrinho. O principal mercado consumidor de madeira serrada é o mercado interno, sendo as regiões Sul e Sudeste os principais destinos. Em termos qualitativos, o resíduo mais gerado pelas serrarias é na forma de pó de serra, enquanto o engenho de serra fita é o maior produtor quantitativo de resíduos. No que se refere ao aproveitamento de resíduos, a maioria das serrarias faz o seu próprio aproveitamento, basicamente na queima em caldeiras para geração de energia.

■ REFERÊNCIAS

1. ANDRAE, F. H.; SCHNEIDER, P. R.; DURLO, M. A. Importância do manejo de florestas nativas para a renda da propriedade e abastecimento do mercado madeireiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 1293-1302, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509832579>>. Acesso em: 06 nov. 2020.
2. BIASI, C. P. **Rendimento e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. 2005. 61 f. Dissertação (Mestre em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/3180>>. Acesso em: 07 nov. 2020.
3. BONISSONI, R. **Resíduos madeireiros em serrarias de dois municípios do médio norte de Mato Grosso**. 2017. 41 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2017. Disponível em: <<https://www1.ufmt.br/ufmt/unidade/userfiles/publicacoes/07345ff891a37451c75717870e1d71cf.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2020.
4. BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A.; KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v32i2.2288>>. Acesso em: 07 nov. 2020.
5. BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Esta lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2010, 2. ed. n.81, p.73. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%202%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A-ncias.&text=Art.&text=%C2%A7%20o%20Esta%20Lei,s%C3%A3o%20regulados%20por%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20espec%C3%ADfica>. Acesso em: 08 nov. 2020.
6. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 474, de 6 de abril de 2016**. In: Diário Oficial da União, Brasília, n. 66, de 7 de abril de 2016. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/22787983/do1-2016-05-02-resolucao-n-474-de-6-de-abril-de-2016--22787761>. Acesso em: 08 nov. 2020.
7. DELMIRO, L. B. **Diagnóstico das serrarias no Município de Alta Floresta – MT**. 2015. 32 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, 2015.
8. FLORA DO BRASIL 2020 EM CONSTRUÇÃO. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB21574>>. Acesso em: 04 nov. 2020.
9. GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A.; MAGALHÃES, P. A. D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 468-474, 2012. Disponível em: <<https://floram.org/doi/10.4322/floram.2012.059>>. Acesso em: 07 nov. 2020.

10. GORGONHA, E. N. **Levantamento da situação das indústrias madeireiras no município de Nova Maringá/Mato Grosso**. 2015. 49 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.
11. INSTITUTO FLORESTA TROPICAL. **Diagnóstico do setor florestal de Cotriguaçu, estado de Mato Grosso**. Belém: IFT, 2010, 76 p. Disponível em: <https://www.icv.org.br/drop/wp-content/uploads/2013/08/10437relatorio_florestal_cotriguacu_ift_icv.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2020.
12. MELO, R.R.; ROCHA, M. J.; RODOLFO JUNIOR, F.; STANGERLIN, D. M. Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará (*Qualea* sp.). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 393-398, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1151>>. Acesso em: 07 nov. 2020.
13. PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e européia EUROCODE 5. 6.ed., rev. e ampl. - [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 220 p.
14. PIGNATI, W. A.; MACHADO, J. M. H. Riscos e agravos à saúde e à vida dos trabalhadores das indústrias madeireiras de Mato Grosso. **Ciência Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 961-972, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000400019>>. Acesso em: 08 nov. 2020.
15. RIBEIRO, E. S.; SOUZA, R. A. T. M.; PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S.; MOREIRA, E. L.; FAZION, H. Espécies florestais comercializadas pelo estado de Mato Grosso. **Biodiversidade**, Rondonópolis, v. 15, n. 2, 2016, p. 2-20. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/3957>>. Acesso em 07 nov. 2020.
16. ROBERT, R. C. G.; Caracterização do abastecimento de madeira serrada comercializada no município de Florianópolis-sc. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 85 - 94, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26304>>. Acesso em: 07 nov. 2020.
17. ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. 5. ed. Curitiba: UFPR, 2001. 105 p.
18. ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. Curitiba: FUPEF, 2002. 121 p.
19. SANTOS C. C.; SILVA I. C.; ZINELLI M. R., MOUZINHO J. S. A indústria madeireira e a geração de resíduos no município de Alta Floresta-MT. **Ciências Agro-Ambientais**. Alta Floresta, v. 10, n. 1, p. 26, 2012. Disponível em: <http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol10/ARTIGO_3_RCAA_v10n1a2012.pdf>. Acesso em 08 nov. 2020.
20. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SEMA. **Instrução Normativa nº 15, de 20 de maio de 2016**. In: Diário Oficial do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, n. 26782, de 20 de maio de 2016. Disponível em: <<https://www.iomat.mt.gov.br/ver-pdf/14507/#/p:27/e:14507?find=conama>>. Acesso em: 08 nov. 2020.
21. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE (Org.). **Anuário do trabalho na micro e pequena empresa**: 2013. 6. ed. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas; Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos [responsável pela elaboração da pesquisa, dos textos, tabelas, gráficos e mapas]. Brasília, DF; DIEESE, 2013. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.
22. VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 211 p.

23. ZAQUE, L. A. M.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SERENINE JUNIOR, L. Diagnóstico da comercialização de madeira serrada no estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 5, p. 607-612, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7392>>. Acesso em: 07 nov. 2020.
24. ZENID, G. J. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo : IPT, 2009. 99p. (IPT Publicação 3010) (Publicação IPT; 3010). Disponível em: <https://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CT-FLORESTA/livros/3-madeira:_uso_sustentavel_na_construcao_civil.htm>. Acesso em: 04 set. 2020.

“

Caracterização física-mecânica e composição química da madeira de Cumaru (*Dipteryx odorata*)

▮ Bárbara Branquinho **Duarte**
USP

▮ Francisco Antônio Rocco **Lahr**
USP

▮ Antônio Aprígio da Silva **Curvelo**
USP

RESUMO

Objetivo: No presente estudo foi realizada a caracterização da espécie tropical de madeira de Cumaru (*Dipteryx odorata*). **Métodos:** As propriedades físico-mecânicas foram obtidas por meio dos ensaios descritos no Anexo B da Norma ABNT NBR 7190/1997; os componentes químicos foram pelo método Klason modificado, a partir da norma TAPPI T-222 om-02, e a porosidade por intrusão de mercúrio. **Resultados:** Verificou-se que a madeira do Cumaru é uma madeira densa ($1,09 \text{ g/cm}^3$), com resistência elevada ($f_{co} = 93 \text{ MPa}$) e alto teor de lignina insolúvel ou lignina A (37,11%). **Conclusão:** a caracterização da madeira do Cumaru foi realizada com sucesso, sendo que os resultados indicam esta espécie de madeira é de alta densidade, pouco porosa, com elevada resistência mecânica, informações que poderão servir como base para sua comercialização racional e para novas aplicações.

Palavras-chave: Propriedades Físico-Mecânicas, Porosidade, Celulose, Hemicelulose, Lignina.

INTRODUÇÃO

A madeira é muito empregada em diferentes campos, dentre os principais tem-se a construção civil, visto que a relação entre resistência mecânica e densidade, para a madeira, é das mais altas no caso dos materiais empregados na construção civil. (DIAS, 2000; KLOCK, 2005; CALIL Jr. e MOLINA, 2011; ALMEIDA et. al., 2014; ALMEIDA et. al., 2015; CHRISTOFORO et. al., 2016; ALMEIDA et. al., 2016).

Neste sentido, o Brasil se encontra em posição favorável, pois já dispõe diversas áreas certificadas para extração de madeiras, no âmbito da Floresta Amazônica. Conforme Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), em 2014 a produção total de madeira serrada no Brasil foi da ordem de 11 milhões de m³, sendo a construção civil um dos principais segmentos consumidores (ROCCO LAHR et al., 2016; CHRISTOFORO et al., 2017).

Estima-se que, na Floresta Amazônica, existam aproximadamente 12.655 espécies, muitas em fase de introdução no mercado, sendo que apenas menos de 7.600 estão devidamente catalogadas, o que restringe sobremaneira seu potencial de aplicação. Nesse sentido, é de suma importância a caracterização de novas espécies (TER STEEGE et al, 2016).

A Norma ABNT NBR 7190/1997: Projeto de Estruturas de Madeira é o instrumento norteador de projetos e estudos de madeira no Brasil, fruto do trabalho de docentes da Universidade de São Paulo, especificamente da Escola Politécnica e da Escola de Engenharia de São Carlos. Seu objetivo é fixar as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira, tais como pontes, pontilhões, coberturas, pisos e cimbramentos. O anexo E desta norma apresenta seis das principais propriedades requeridas para o dimensionamento de elementos estruturais, divulgadas para 43 espécies de madeiras folhosas e coníferas.

As madeiras extraídas no Brasil apresentam possibilidade de emprego em vários setores, porém, muitas vezes essas têm sido comercializadas com nomes genéricos e, assim, sem qualquer caracterização, o que pode influenciar negativamente em seu desempenho em serviço (ALMEIDA, 2015).

Nesse sentido, o presente trabalho vem a caracterizar a madeira do Cumaru (*Dipteryx odorata*), nos aspectos físicos, mecânicos e químicos.

Revisão de literatura

Cumaru-de-folha-grande, Cumbaru-roxo ou apenas Cumaru é o nome conhecido para a *Dipteryx odorata*. Ela é uma árvore grande, geralmente encontrada com mais de 50 m de altura e por 1,20 m de diâmetro, cujo tronco tem formato cilíndrico, com fuste de 18 a 24 m de comprimento. A Figura 1 apresenta uma amostra da madeira desta espécie.

Figura 1. Amostra de madeira de Cumaru



Fonte: DUARTE (2017)

Esta árvore, muito encontrada em solos com boa drenagem como da região Amazônica e áreas da Colômbia, Guianas e Venezuela, tem as particularidades de fornecer madeira de odor semelhante ao da baunilha e aparência cerosa, sem gosto perceptível. Sua superfície é medianamente lustrosa, cerne com coloração marrom-claro ou marrom-amarelado e alburno é marrom-amarelado, mas distinto.

O Cumaru tem potencial de emprego na construção civil, na indústria de laminados, em cabos de ferramentas, implementos agrícolas, dormentes e cruzetas, forros, tábuas de assoalho. Sua trabalhabilidade é definida por:

- Aceitar polimento, pintura, verniz, lustre e emassamento;
- Obter uma superfície lisa se não estiver presente a grã reversa;
- Ter difícil perfuração

Na Tabela 1 são expostas algumas propriedades da madeira de Cumaru, que pode ser classificada como de alto peso específico, baixa retratibilidade e alta resistência mecânica.

Tais propriedades foram obtidas à luz dos antigos Métodos de Ensaio para Madeiras, MB26:1940, que passou a ser nomeado NBR6230, em 1985, e algumas delas ainda estão apresentadas em unidades distintas das adotadas pelo Sistema Internacional.

Tabela 1. Propriedades físico-mecânicas da madeira de Cumaru

Massa específica	g/cm ³	kg/m ³
Aparente (15% de umidade)	0,95	950
Básica	0,82	820

Retração Total	Radial	Tangencial	Volumétrica
(%)	5,0	7,6	12,0

Índice tangencial/radial	1,52

Resistência Mecânica (kgf/cm ²)	Madeira Verde	A 15% de umidade
Compressão axial	671	951
Flexão estática	1.324	1.720
Tração normal	62	-

Fonte: REMADE (2017), disponível em: <http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/145/madeiras-brasileiras-e-exoticas/>.

Além disso, a madeira do Cumaru algumas poucas propriedades divulgadas no Anexo E da NBR 7190/97, sendo elas: Densidade aparente ($\rho_{ap}(12\%)$); Resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}); Resistência à tração na direção paralela às fibras (f_{t0}); Resistência à tração na direção normal às fibras (f_{t90}); Resistência ao cisalhamento (f_v); e Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras (E_{c0}), apresentadas pela Tabela 2.

Tabela 2. Resultados de algumas propriedades da madeira de Cumaru adaptados da Norma Brasileira ABNT NBR 7190/97

Nome comum	Nome científico	pap (12%) (kg/m ³)	fc0 (MPa)	ft0 (MPa)	ft90 (MPa)	fv (MPa)	Ec0 (MPa)
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	1090	93,2	133,5	2,9	10,7	23002

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997)

OBJETIVO

Caracterizar a madeira de Cumaru (*Dipteryx odorata*), obtendo-se propriedades de resistência e rigidez, físicas e composição química.

MÉTODOS

Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira

As madeiras foram devidamente estocadas e apresentaram teor de umidade próximo de 12%, que consiste na porcentagem de referência para o equilíbrio ao ar, segundo a norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997).

As propriedades físicas e mecânicas (Tabela 3) das espécies de madeira foram obtidas de acordo as premissas e métodos de cálculo constantes no anexo B da norma Brasileira ABNT NBR 7190 (1997).

Tabela 3. Propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

Propriedade	Sigla
Densidade Aparente	ρ_{ap}
Retração radial total	RradT
Retração tangencial total	RtgT
Resistência à compressão paralela às fibras	f_{c0}
Resistência à compressão normal às fibras	f_{c90}
Resistência à tração paralela às fibras	f_{t0}
Resistência à tração normal às fibras	f_{t90}
Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras	f_{v0}
Resistência ao fendilhamento	f_{s0}
Resistência convencional no ensaio de flexão estática	f_M
Módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras	E_{c0}
Módulo de elasticidade na compressão normal às fibras	E_{c90}
Módulo de elasticidade longitudinal na tração paralela às fibras	E_{t0}
Módulo de elasticidade convencional no ensaio de flexão estática	E_M
Dureza paralela às fibras	f_{H0}
Dureza normal às fibras	f_{H90}
Tenacidade	W

Fonte: DUARTE (2017)

Foram confeccionados 12 corpos de prova para os testes, visando a obtenção das propriedades físicas e mecânicas para a espécie considerada, o que resultou em 204 determinações experimentais.

Componentes Químicos da Madeira

As composições químicas avaliadas consistiram nos teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e cinzas. As análises químicas foram realizadas no Laboratório do Grupo de Físico-Química Orgânica do Instituto de Química de São Carlos – IQSC/USP Campus 1.

Teor de extrativoss

O processo de preparação das amostras seguiu os preceitos da norma TAPPI 264 CM-97 (1997) e toda a análise química foi realizada em duplicata.

Primeiramente foi utilizado um Moinho de facas tipo Willey SL-31 para a moagem do material que foi peneirado em granulometria 30 mesh, obtendo-se assim 15 gramas de amostra por espécie de madeira avaliada.

Com posse das amostras, foram elaborados cartuchos com papel de filtro contendo metade do material de cada amostra (7,5g) para realizar a duplicata, que foram submetidos ao processo de extração em solventes organo-solúveis em um extrator tipo Soxhlet. Houve duas etapas, sendo que a primeira consistiu em utilização de 1:1 (v/v) partes de ciclo-hexano/etanol, por 8 horas, com objetivo de remover os extrativos organo-solúveis e uma segunda utilizando água em ebulição pelo mesmo período.

Com auxílio de uma estufa de temperatura máxima de 100°C, a amostra foi seca até obter massa constante, e, por conseguinte, o teor de extrativos (%E) foi calculado de acordo com a Equação 1, sendo m_i a massa inicial (g) e m_f a massa final (g).

$$\%E = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100n_c = \frac{E_c}{E_w} \quad (1)$$

Teor de lignina

Para determinar o teor de Lignina do material foi utilizado o método Klason modificado por NREL (2012). Este método é dividido em duas etapas:

1a Etapa - Tratamento do material lignocelulósico com ácido sulfúrico 72% por um período de 2 horas sob agitação: foi utilizada uma massa seca inicial de 0,8g de material moído (42 mesh) sendo adicionado 12 ml de ácido sulfúrico 72% em um tubo borossilicato autoclavável de 500 ml, que reagiu sob agitação constante por um período de 2 horas;

2a Etapa - Hidrólise com ácido sulfúrico a 3%, em autoclave, durante 1 hora: após a primeira etapa, adicionou-se 450 ml de água destilada ao tubo (concentração de ácido sulfúrico 3%) que posteriormente foram fechados e inseridos na autoclave sob temperatura de 120°C, a uma pressão de 2 bar, por um período de 1 hora. Após a despressurização da autoclave, os tubos foram resfriados utilizando gelo e água até temperatura ambiente (25°C).

Deste método obtém-se um sólido residual e uma solução que é posteriormente filtrada em um funil de vidro sinterizado de massa conhecida, sendo que se utiliza o material retido para calcular a lignina insolúvel e o líquido filtrado para a determinação lignina solúvel. A soma de ambas, lignina insolúvel e lignina solúvel, consiste no valor total de lignina do material.

Lignina Insolúvel

O material retido é submetido à secagem em estufa por 24 horas e transferido para um dessecador, quando então se pesa o material seco até obtenção de massa constante, sendo

esta a massa de lignina insolúvel. Ressalta-se que é necessário considerar a presença das cinzas da lignina insolúvel, determinadas a partir da calcinação do resíduo obtido do método Klason. A calcinação consiste na exposição do material retido a 525°C, por 4 horas, com rampa de aquecimento de 100°C/h.

Consequentemente, o teor de lignina insolúvel (LI: lignina Klason insolúvel da amostra - %) é determinada da subtração da massa de cinzas da massa inicial obtida da pesagem do material seco na estufa, assim como expressa a Equação 2, sendo m_L a massa de lignina imiscível seca (g), m_C a massa de cinzas (g) e m_S a massa da amostra seca (g).

$$LI = \frac{m_L - m_C}{m_S} \cdot 100\% = \frac{A_w \cdot y_w + n_c \cdot A_c \cdot y_c}{A_w + n_c \cdot A_c} \quad (2)$$

Lignina Solúvel

O líquido filtrado foi analisado no Espectrofotômetro de UV-Vis `Hach` DR-5000, com cela de quartzo de 10mm de caminho ótico, devido a lignina absorver fortemente a luz ultravioleta característica permitida pela sua natureza aromática. É observado na região dos comprimentos de onda de 280nm e 215nm, correspondente ao ultravioleta.

Antes de efetuar o cálculo das concentrações de lignina, é necessária a consideração quanto a diluição da solução na qual foi registrado o espectro. Neste estudo foi utilizado fator de diluição 5, ou seja, 1 ml do filtrado foi diluído 4 vezes na solução de ácido sulfúrico nas mesmas proporções.

As concentrações de lignina solúvel (LI_{sol}) são calculadas pela Equação 3 (GOLDSCHIMD, 1971; NOVO, 2012), sendo A_{215} a absorbância em 215nm, A_{280} é a absorbância em 280nm, v_f é o volume aferido da solução ácida da reação Klason (l), FD é o fator de diluição (diluição da solução no qual foi registrado o espectro) e m_b é a massa seca da biomassa utilizada para a reação Klason.

$$LI_{sol}(\%) = \frac{(4.53 \cdot A_{215} - A_{280}) \cdot v_f \cdot FD}{3 \cdot m_b} \quad (3)$$

Teor de Celulose e Hemicelulose

Os teores de celulose e hemicelulose foram obtidos por cromatografia líquida de alta eficiência a partir da quantificação dos açúcares (e derivados) contidos no hidrolisado resultado da determinação de Lignina Klason. Os açúcares e derivados quantificados foram: celobiose, glicose, xilose, arabinose, ácido acético, furfural e hidroximetilfurfural. A análise é realizada em duas etapas:

1a Etapa - Análise cromatográfica para determinação de Furfural e Hidroximetilfurfural: Filtrou-se uma solução contendo o hidrolisado obtido no método Klason em membrana de 0,45µm. A solução resultante foi injetada em um cromatógrafo SHIMADZU (modelo CR 7A) através de uma coluna RP 18 (C18) da HewlettPackard com um eluente de solução de acetonitrila/água 1:8 (v:v), contendo 1% de ácido acético e um fluxo fixado em 0,8 ml/min à temperatura ambiente. O detector utilizado foi o UV (254nm) da SHIMADZU (modelo SPD-10A);

2a Etapa - Análise cromatográfica para determinação de Açúcares: Filtrou-se uma solução contendo o hidrolisado obtido no método Klason em membrana SEP PAK C18 (Waters) para a retenção da lignina solúvel e demais produtos de degradação, e em seguida filtrada em membrana de 0,45µm. A solução resultante foi injetada em um cromatógrafo SHIMADZU (modelo CR 7A) através de uma coluna Aminex HPX-87H (300x7,8mm BIO-RAD) com um eluente 0,005 M H₂SO₄ e fluxo fixado em 0,6 ml/min e temperatura em 45°C. O detector utilizado foi o índice de refração SHIMADZU R10-6A.

Conforme Marabezi (2009), nessa metodologia converte-se:

- as massas de glicose, celobiose e hidroximetilfurfural (HMF) em celulose, através de retas de calibração correspondente e com a aplicação dos respectivos fatores de conversão: 0,90, 0,95 e 1,37;
- as massas de xilose, arabinose e furfural e grupos acetila em hemiceluloses através do mesmo procedimento, com o fator 0,88 para xilose e arabinose, 1,29 para furfural e 0,72 para conversão de ácido acético para acetila.

Teor de Cinzas

Os teores de cinzas das espécies de madeira foram determinados pelo teor de resíduos resultantes da queima completa das amostras, ou seja, a porcentagem de material inorgânico da amostra. Conforme a norma T211 om-02 (2002) modificada, adiciona-se 1g da amostra triturada e seca em um cadinho de porcelana de massa conhecida. Depois o conjunto é submetido à temperatura de 525°C por 4h dentro de uma mufla. O teor de cinzas (%C_i) é determinado pelo quociente entre a massa do material residual (m_r - g) e a massa inicial seca antes da queima (m - g), assim como expressa a Equação 4.

$$\%C_i = 100 \cdot \frac{m_r}{m} \quad (4)$$

Análise de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

Dos ensaios de porosimetria, realizados em duplicata para a espécie estudada, assim como na determinação dos demais componentes químicos das madeiras, foram analisadas as propriedades: área total de poros (ATP), densidade aparente (DA) e o diâmetro médio dos poros (DMP).

Primeiramente foram preparados os corpos de prova com dimensões nominais de um prisma de 2 cm de altura e base de 1 cm² de área, e depois foram dispostos em estufa com circulação de ar a 50°C por período de 24 horas para o processo de secagem.

Foi utilizado o equipamento Micromeritics Poresizer, modelo 9320, com capacidade de pressão de 200 MPa, sendo adotados os seguintes parâmetros: mercúrio com tensão superficial de 0,494 g/cm², densidade de 13,533 g/ml, ângulo de contato do avanço e retrocesso de 130° e tempo de equilíbrio entre a baixa e alta pressão de 10 segundos.

RESULTADOS

A seguir a tabela 4 apresenta a média dos resultados obtidos e os coeficientes de variação correspondentes.

Tabela 4. Propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

Propriedades Físicas e Mecânicas									
	ρ_{ap} (g/cm ³)	RradT (%)	RtgT (%)	fc0 (MPa)	ft0 (MPa)	ft90 (MPa)	fv0 (MPa)	fs0 (MPa)	fM (MPa)
Média	1,09	3,95	6,38	93	122	2,9	18	0,76	165
CV (%)	3,08	20,85	16,94	5,45	21,57	19,71	16,69	11,87	19,01

	Ec0 (MPa)	Et0 (MPa)	EM (MPa)	fh0 (MPa)	fh90 (MPa)	W (daN.m)	fc90 (MPa)	Ec90 (MPa)	Porosidade (%)
Média	23002	22719	23217	138	127	2,32	24	1269	36,63
CV (%)	10,76	7,09	9,48	10,31	13,3	20,65	21,05	14,7	

Composição Química						
	Celulose	Hemicelulose	Lignina A	Lignina B	Cinzas	Extrativos
Média	43,69	14,88	37,11	1,03	0,5	12,72
CV (%)	1,61	0,52	1,2	5,19	1,43	1,28

Fonte: Adaptado de DUARTE (2017)

DISCUSSÃO

Consegue-se aferir que os valores obtidos para ρ_{ap} 12%, f_{c0} , f_{t0} , f_{t90} , f_v e E_{c0} estão coerentes com os valores expostos no Anexo E da ABNT NBR 7190/97 (Tabela 2). Por

exemplo, no Anexo E obteve-se densidade aparente de 1.090kg/m³, equivalente ao determinado neste estudo.

Não foram encontradas publicações, na literatura da área, que permitisse a comparação com as demais propriedades estudadas.

Quanto à composição química, Santana e Okino (2007) estudaram a composição química de 36 espécies de madeira, dentre estas o Cumaru. Na Tabela 5 são comparados os valores obtidos da presente pesquisa (1) e os valores obtidos por estes dois autores (2).

Tabela 5. Comparativo dos teores de componentes químicos do Cumaru entre o presente estudo e por Santana e Okino (2007).

Celulose (%)		Hemicelulose (%)		Lignina A (%)		Lignina B (%)		Cinzas (%)		Extrativos (%)	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
43.69	47.40	14.88	20.90	37.11	30.2	1.03	1.40	0.50	0.20	12.72	6.90

Fonte: Adaptado de DUARTE (2017)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que foi possível a caracterização da madeira do Cumaru de modo satisfatório comparado a literatura já estabelecida. As informações da madeira do Cumaru apresentadas poderão servir como base para sua comercialização e para novos estudos. Além disso, os resultados indicam esta espécie de madeira apresenta alta densidade densa, pouco porosa, tem elevada resistência mecânica e potencial para emprego em diversos segmentos da indústria.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, D. H.; CHAHUD, E.; FERRO, F. S.; POLETO, S. F. S.; ALMEIDA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. **Physical and mechanical properties of *Dipteryx odorata* (Aublet) Willd**, Advanced Materials Research, 1025-1026 (2014) 46-49.DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.46
2. ALMEIDA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; CHRISTOFORO, A. L.; CHAHUD, E.; BRANCO, L. A. M. N.; LAHR, F. A. R. **Density as Estimator of Strength in Compression Parallel to the Grain in Wood**. International Journal of Materials Engineering, 6 (2016) 67-71.DOI: 10.5923/j.ijme.20160603.01
3. ALMEIDA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; MARCOLIN, L. A.; GONCALVES, D.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. **Correlation between Dry Density and Volumetric Shrinkage Coefficient of Three Brazilian Tropical Wood Species**. International Journal of Materials Engineering, v. 5, p. 50-63, 2015.DOI: 10.5923/j.ijme.20150501.01

4. ALMEIDA, T. H. **Estudo da Estabilidade Dimensional de Madeiras Tropicais Brasileiras**. 2015. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7190: **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: 1997
6. CALIL JR, C; MOLINA, J. C. **Emerging Timber Bridge Program to São Paulo State: A Five-Year Report**. Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 5, p. 459-464, 2011.
7. CHRISTOFORO, A. L.; ALMEIDA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; SANTOS, J. C.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. **Shrinkage for some wood species estimated by density**. International Journal of Materials Engineering, v. 6, p. 23-27. 2016DOI: 10.5923/j.ijme.20160602.01
8. CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; ARAUJO, V. A.; FIORELLI, J.; ROCCO LAHR, F. A. **Timber beam repair based on polymer-cementitious blends**. Engenharia Agrícola (Online), v. 37, p. 366-375, 2017.DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n2p366-375/2017
9. DIAS, F. M. **A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira**. Dissertação de Mestrado - Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.
10. DUARTE, B. B. **Influência de componentes químicos em propriedades mecânicas da madeira**. 119p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
11. KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3.ed. Curitiba: UFPR, 2005.
12. MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
13. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY - NREL. **Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass**. Laboratory Analytical Procedure (LAP). 2012
14. REMADE. <<http://www.remade.com.br/>>. Acesso em: 14 de novembro de 2016.
15. ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L.; FIORELLI, J. **Influence of nails size and layout to obtain the reduction coefficient of moment of inertia for timber beams with composite cross section**. Engenharia Agrícola (Online), v. 36, p. 715-723, 2016.DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n4p715-723/2016
16. SANTANA, M. A. E. & OKINO, E. Y. A. **Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species**. Holzforschung, Berlin.2007.DOI: 10.1515/HF.2007.084
17. TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Standart T211 om-02. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. 2002
18. TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Standart T264 CM-97. Solvent extractives of wood and pulp. 1997
19. TER STEEGE, H. et al. **The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa**. Sci. Rep. 6, 29549; doi: 10.1038/srep29549 (2016). (Nature)

“

Coleobrocas em nogueira-pecã no Rio Grande do Sul, Brasil

▮ Jardel **Boscardin**
UFU

▮ Ervandil Corrêa **Costa**
UFSM/PPGEF

RESUMO

Objetivo: O estudo objetivou relatar e caracterizar as injúrias ocasionadas por coleobrocas em plantas de *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch (Juglandaceae), no Rio Grande do Sul. **Métodos:** O primeiro relato ocorreu em outubro de 2012, em um plantio de um hectare de nogueira-pecã, composto por quatro diferentes cultivares, no município de Tunas-RS (29°06'30"S; 52°56'4"O), com relatos posteriores em outros municípios. Para caracterização das injúrias foram coletadas cinco plantas atacadas por coleobrocas, em Tunas-RS. As plantas foram seccionadas logo acima do porta-enxerto, em duas secções. A partir do seccionamento, realizou-se a contagem dos orifícios por secção e calculou-se o volume por Smalian; em seguida, realizou-se correlação linear de Pearson para as variáveis analisadas. **Resultados:** Das 204 plantas presentes no plantio, 60 (29,4 %) apresentaram sintomas de ataque pelas coleobrocas identificadas como *Corthylus* sp.1, *Corthylus* sp.2 e *Xyleborinus* sp. (Coleoptera: Curculinidae, Scolytinae). Os sintomas externos de ataques as plantas constituíram-se da presença de brotação do porta-enxerto; orifícios no tronco (nunca no porta-enxerto); presença de serragem, em alguns casos exsudação da seiva, em outros, a casca apresentava rugosidade e amarelecimento das folhas. Após apresentar um ou mais sintomas externos, as folhas secavam e caíam, e após duas a quatro semanas, constatava-se a morte da planta. Na parte interna das plantas atacadas verificou-se manchamento do lenho. Constatou-se uma média de 24 orifícios por planta, com correlação significativa positiva entre o número de orifícios, comprimento das secções e volume de tronco. **Conclusão:** Este é o primeiro registro de ocorrência de coleobrocas atacando plantas de nogueira-pecã no sul do Brasil.

Palavras-chave: Barton, *Carya ILLINOENSIS*, *Corthylus*, Insetos Broqueadores, Scolytinae.

INTRODUÇÃO

A espécie *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch pertencente à família Juglandaceae, é conhecida popularmente como noqueira-pecã, ocorre naturalmente do México aos Estados Unidos (McWILLIAMS, 2013). De acordo com Peterson (1990), as cultivares melhoradas são amplamente cultivadas nos Estados Unidos e no exterior para fins de comercialização das nozes (amêndoas), e da madeira, que pode ser utilizada para confecção de móveis, armários, painéis etc.

No Brasil, nos últimos anos vem ocorrendo uma expansão das áreas plantadas com noqueira-pecã, concentrando-se principalmente na região Sul, devido as condições bioclimáticas adequadas, somadas a demanda de nozes e ao bom preço pago pela amêndoa. Porém, com o crescimento das áreas plantadas há uma preocupação com o surgimento de pragas e doenças, que possam vir a comprometer o desenvolvimento das plantas, a produtividade de nozes nos pomares e à qualidade da madeira extraída.

Nesse contexto, entre as espécies nocivas de insetos que atacam *C. illinoensis* destacam-se os broqueadores, que comprometem tanto a produtividade de nozes, quanto a produção de madeira de boa qualidade. Na região de ocorrência natural da noqueira-pecã, há predominância de espécies de insetos broqueadores de madeira (SOLOMON; PAYNE, 1986; THOMPSON; CONNER, 2012). As coleobrocas compõem um grupo de insetos-praga mundialmente conhecidos pelos danos causados às florestas, bem como à qualidade da madeira de diferentes espécies florestais (MOURA et al., 2008), incluindo a *C. illinoensis*.

Popularmente conhecidos como besouros da ambrosia ou micro-coleobrocas, as espécies pertencentes as subfamílias Scolytinae e Platypodinae (Coleoptera: Curculionidae), possuem esse nome pelo fato de estabelecerem uma relação mutualística com uma espécie de fungo que causa manchamento da madeira. Os besouros da ambrosia possuem o hábito alimentar essencialmente micetófago (BERTI FILHO, 1979). Segundo Carrano-Moreira (2014), essas espécies atacam inicialmente árvores estressadas ou injuriadas, porém quando atingem níveis populacionais elevados podem atacar plantas saudáveis, e o manchamento ocasionado pelo fungo provoca a inutilização da madeira para uso nobre.

Dentre as coleobrocas relatadas atacando a noqueira-pecã na América do Norte destacam-se *Platypus compositus* Say, 1824 (Coleoptera: Curculionidae, Platypodinae) (SOLOMON; PAYNE, 1986) e *Scolytus quadrispinosus* Say, 1824, *Xyleborus affinis* Eichhoff, 1868, *Xyleborus ferrugineus* (Fabricius, 1801), *Xyleborus saxeseni* (Ratzeburg, 1837) e *Xylosandrus crassiusculus* (Motschulsky, 1866) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) (SOLOMON; PAYNE, 1986; REE; KNUTSON, 1997; THOMPSON; CONNER, 2012). No sul do Brasil, as espécies de Scolytinae e Platypodinae são consideradas pragas secundárias e

ocorrem associadas às espécies florestais cultivadas e nativas (PEDROSA-MACEDO et al., 1993; FLECHTMANN et al. 1995; MURARI, 2005; MACHADO, 2013).

Para a Engenharia Industrial Madeireira é essencial o conhecimento da qualidade da madeira utilizada como matéria prima para fabricação de produtos. Deste modo, o presente trabalho se justifica por ampliar o conhecimento acerca de espécies de coleobrocas causadoras de injúrias e danos em madeira de espécies florestais que tem sua produção destinadas à indústria madeireira.

OBJETIVO

Assim, o presente estudo tem como objetivo relatar a ocorrência de espécies de insetos broqueadores em nogueira-pecã, em municípios do estado do Rio Grande do Sul, bem como caracterizar as injúrias ocasionadas nas árvores.

MÉTODOS

Localização e caracterização das áreas do estudo

A partir de relatos de produtores, que descreviam injúrias causadas por um inseto broqueador em plantas de *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch (nogueira-pecã) no estado do Rio Grande do Sul, foram realizadas visitas técnicas com a finalidade de caracterizar as injúrias e recolher amostras. Os plantios de nogueira-pecã visitados as injúrias localizados nos municípios de Mata e Tunas, bem como se solicitou o envio da descrição e fotografias das injúrias causadas pelos insetos do plantio localizado no município de Santa Rosa (Tabela 1).

Tabela 1. Dados dos plantios em que houveram a ocorrência de escolitíneos (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) em nogueira-pecã, em municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. Outubro de 2012.

Cidades	Coordenadas Geográficas	Área	Cultivares	Idade
Mata	29°32'46"S; 54°23'3"O	3 ha	3 cultivares Barton para 1 de (Shawnee, Stuart e Choctaw)	6 anos
Santa Rosa	27°91'85"S; 54°54'88"O	26 ha	Predomínio de "Pitol 1" (Melhorada) e 2 polinizadoras (10%).	1; 2; 4 e 5 anos
Tunas	29°06'30"S; 52°56'4"O	1 ha	3 cultivares Barton para 1 de (Shawnee, Stuart e Choctaw)	2 anos

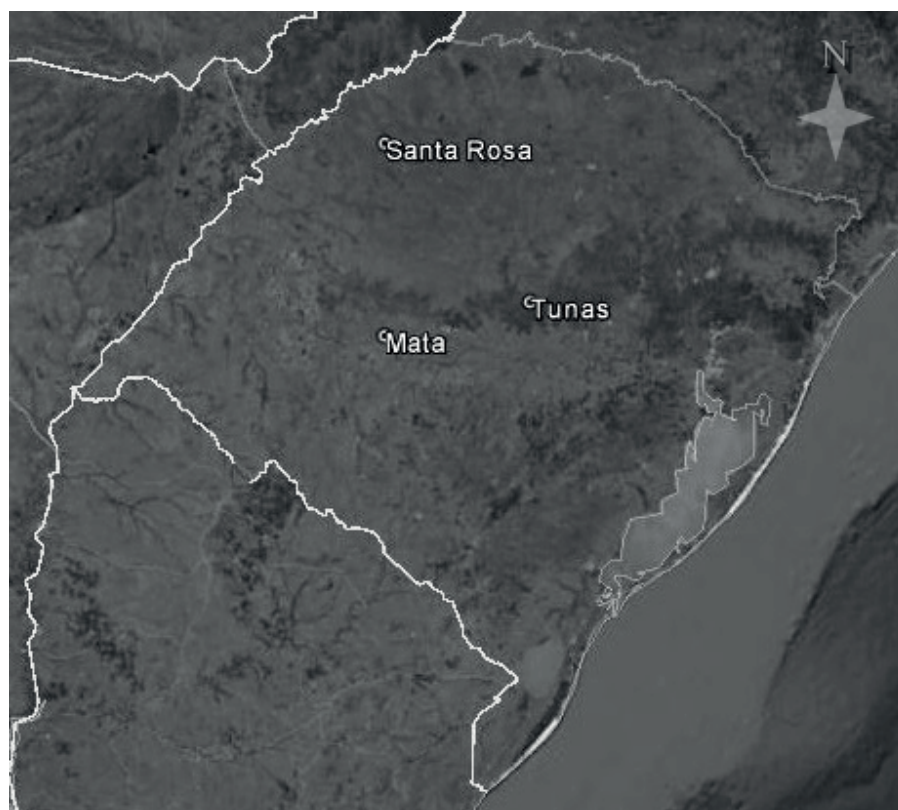
Os espaçamentos utilizados em todos os plantios foram de 7 m x 7 m; A ocorrência do inseto foi verificada em todos os plantios, no início do mês de outubro de 2012.

Fonte: Jardel Boscardin (2016).

O município de Mata está localizado na mesorregião Centro Ocidental Rio-Grandense do estado do Rio Grande do sul, pertencendo a microrregião de Santa Maria (Figura 1), a 127 m de altitude. O solo da região é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico

úmbrico (STRECK et al., 2008). As áreas adjacentes eram compostas de: área com capoeira (ao norte); campo com pecuária (sul); faixa de mata nativa (ao leste); e, plantio de *Eucalyptus* sp. com 4 anos de idade (ao oeste).

Figura 1. Localização das cidades em que ocorreram as amostragens em plantios de nogueira-pecã, no Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: Google Earth (Imagem de 13 de dezembro de 2015).

O município de Santa Rosa está localizado na mesorregião Noroeste Rio-Grandense do estado do Rio Grande do Sul, pertencendo a microrregião de Santa Rosa (Figura 1), a 277 m de altitude. A região possui três tipos de solos: Latossolo Vermelho Distroférrico, Neossolo Regolítico Eutrófico e Cambissolo Háplico Eutroférrico (STRECK et al., 2008). As áreas adjacentes ao plantio eram compostas por lavouras de grãos, em todos os sentidos cardeais (norte, sul, leste e oeste).

O município de Tunas está localizado na mesorregião do Noroeste Rio-Grandense do estado do Rio Grande do Sul, pertencendo a microrregião de Soledade (Figura 1), a 339 m do nível do mar. Os solos da região são classificados em Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico e Neossolo Regolítico Distro-úmbrico léptico ou típico (STRECK et al., 2008). As áreas adjacentes eram compostas por plantio de grão, sendo que na época verificou-se o plantio de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em todos os sentidos cardeais (norte, sul, leste e oeste), sendo que parte do plantio permanecia separada do outro, por um remanescente de mata nativa.

Coleta, triagem e identificação

A confirmação da subfamília Scolytinae foi realizada por meio da descrição das injúrias, realizada através das visitas técnicas, bem como a partir do material coletado para inspeção em laboratório. Os exemplares dos insetos adultos encontrados broqueando os caules das plantas de nogueira-pecã em Tunas, RS, foram enviados para identificação por taxonomista.

Por tratar-se de uma ocorrência de grande impacto para a cultura da nogueira-pecã no país, todos os exemplares foram enviados para identificação e encontram-se sob responsabilidade do taxonomista, Professor Dr. Carlos Alberto Hector Flechtmann da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP).

Análise dos dados

No município de Tunas-RS foram coletadas cinco plantas atacadas por insetos broqueadores. As plantas foram seccionadas logo acima do porta-enxerto. Em seguida, com auxílio de um paquímetro digital foram mensurados, em metros (m): o maior diâmetro da Secção 1, correspondente à parte seccionada próxima ao porta-enxerto; o menor diâmetro da Secção 1 e o maior diâmetro da Secção 2, correspondentes a parte seccionada no meio do tronco da planta; e, por fim, o menor diâmetro da Secção 2, correspondente ao topo da árvore. Nas outras áreas não foram realizadas coletas dessa natureza.

A partir do seccionamento, realizou-se a contagem dos orifícios por Secção, bem como calculou-se o volume (m^3) do tronco com casca, pela fórmula de Smalian, dada por $V = \sum_n L * [(g1 + g2) / 2]$, em que: V = volume do tronco (m^3); L = comprimento do tronco (m); $g1$ = área seccional da extremidade inferior do tronco (m^2); e, $g2$ = área seccional da extremidade superior do tronco (m^2).

A fim de verificar a relação entre o número de orifícios presentes nas secções do tronco e o comprimento e volume, realizou-se correlação linear de Pearson (r), utilizando-se o *software* estatístico Assistat 7.7 beta, desenvolvido por Silva e Azevedo (2002).

RESULTADOS

Das espécies enviadas para identificação chegou-se a dois gêneros e três espécies diferentes, sendo elas: *Corthylus* sp.1, *Corthylus* sp.2 e *Xyleborinus* sp. (Coleoptera: Curculinidae, Scolytinae).

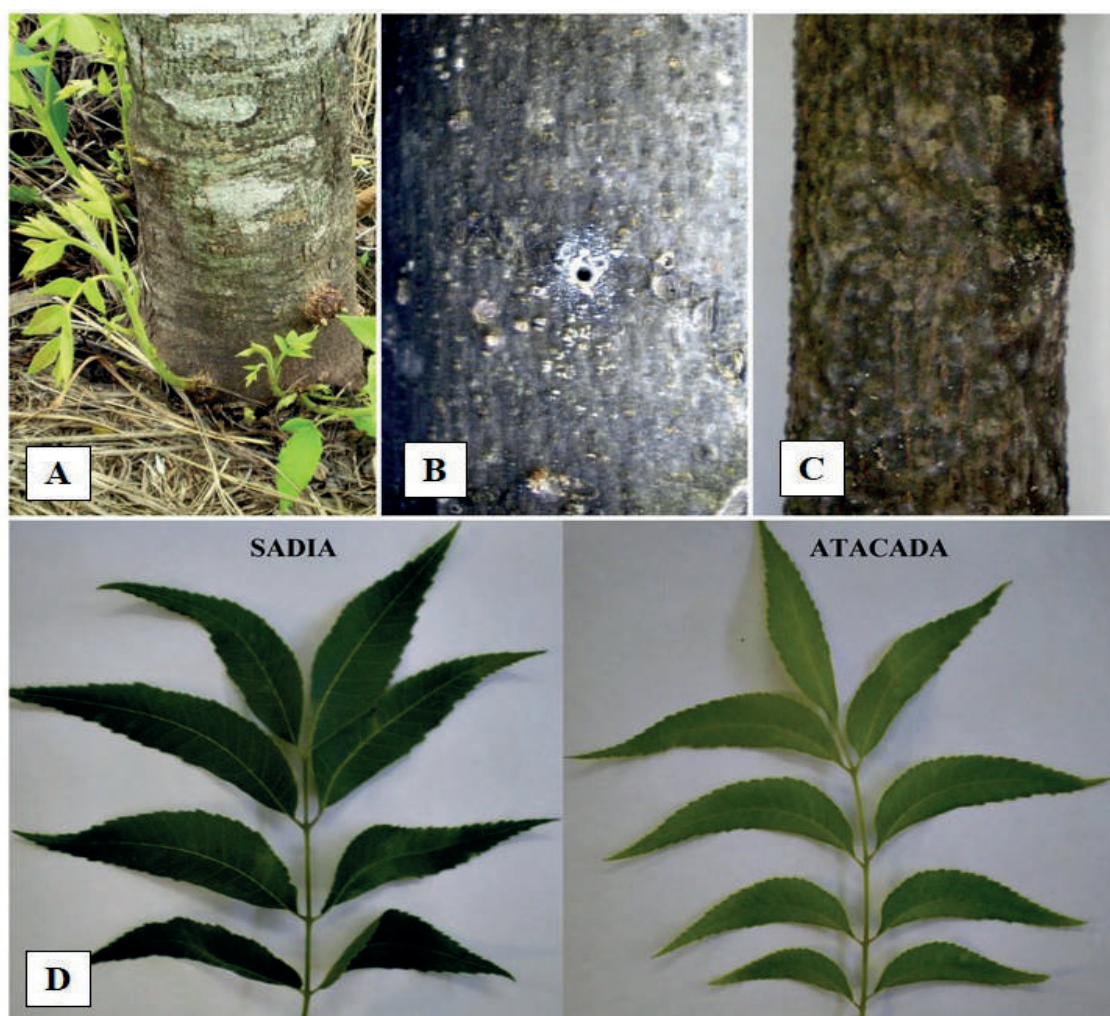
Os sintomas externos verificados nas plantas das áreas avaliadas ocasionados pelo ataque de espécies de escolitíneos em troncos de nogueira-pecã, são similares e constituíam-se na presença de brotação do porta-enxerto (Figura 2 A); orifícios no tronco (nunca no porta-enxerto); presença de serragem (Figura 2 B), e em alguns casos, exsudação da

seiva; em outros casos, a casca apresentava rugosidade (Figura 2 C), e, amarelecimento das folhas (Figura 2 D).

Após apresentar um ou mais sintomas externos anteriormente citados, as folhas secavam e caíam (Figura 3 A), e passadas duas a quatro semanas constatava-se a morte da planta (Figura 3 B). Na parte interna das plantas atacadas foi verificado o manchamento do lenho, tanto em corte longitudinal (Figura 3 C), quanto em corte transversal (Figura 3 D).

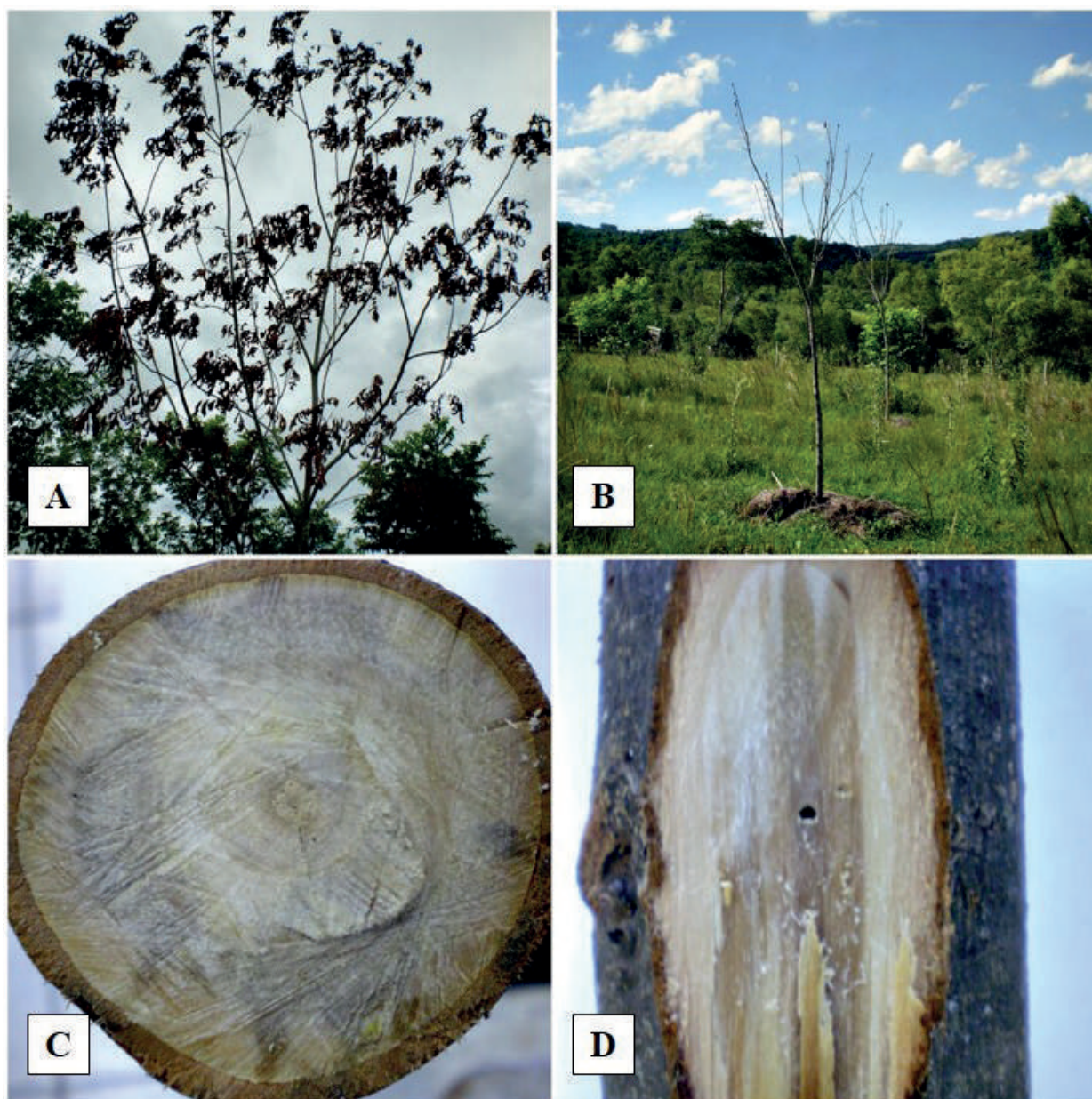
No plantio localizado no município de Mata, das 612 plantas de *C. illinoensis* visitadas, 101 (16,5 %) apresentavam sintomas de ataque. Enquanto, em Santa Rosa, do plantio com aproximadamente 5.304 plantas de nogueira-pecã, verificou-se o ataque a cerca de 50 plantas, ou seja, 0,9 %. Este fato pode estar ligado ao tipo de solo encontrado na região do município, que mais drenado e favorece maior armazenamento de água e menor estresse hídrico.

Figura 2. Sintomologia externa indicando a presença de escolitíneos, em plantas de nogueira-pecã, em cidades do Rio Grande do Sul. Outubro de 2012.



Sintomologia externa do ataque de escolitíneo em nogueira-pecã: brotação do porta-enxerto (A); orifício no tronco com presença de serragem (B) casca apresentando rugosidade (C) e folha sadia e folha atacada, esta última apresentando amarelecimento (D).
Fotos: Jardel Boscardin (2012).

Figura 3. Sintomologia externa e interna da presença de escolitíneos em plantas de nogueira-pecã, em cidades do Rio Grande do Sul. Outubro de 2012.



Sintomologia do ataque de escolitíneo em nogueira-pecã. Sintomologia externa: com secagem das folhas (A) e consequente morte das plantas (B); Sintomologia interna: manchamento do lenho, em corte transversal (C) e em corte longitudinal (D).

Fotos: Jardel Boscardin (2012).

No plantio localizado em Tunas, das 204 plantas, 60 (29,4 %), apresentaram sintomas de ataque. Para o material coletado no município verificou-se que o número total de orifícios de entrada/emergência de orifícios variou de 7 a 70, com uma média de 24 orifícios por planta (Tabela 2). O longo período de estiagem verificado naquele ano, associado ao tipo de solo encontrado na região, podem explicar o estresse hídrico e o consequente surto da praga.

Tabela 2. Número de orifícios de entrada e/ou emergência de escolitíneos em cinco árvores de nogueira-pecã, com dois anos de idade, em um plantio de um hectare, localizado no município de Tunas, RS, em 8 de novembro de 2012.

Árvores	*Secções	Maior Ø (m)	Menor Ø (m)	Comprimento (m)	**Volume (m³)	Número de orifícios	Descrição das injúrias
Árvore 1	Secção 1	0,040	0,027	0,800	0,036	0	Casca com aspecto normal, com exsudação de seiva a partir dos orifícios e madeira manchada apresentando forte odor.
	Secção 2	0,027	0,022	0,800		7	
Árvore 2	Secção 1	0,058	0,047	1,100	0,084	11	Casca com aspecto normal, sem exsudação de seiva e madeira manchada apresentando forte odor.
	Secção 2	0,047	0,042	1,100		59	
Árvore 3	Secção 1	0,039	0,025	1,000	0,043	7	Casca com aspecto enrugado, sem exsudação de seiva e madeira manchada apresentando forte odor.
	Secção 2	0,025	0,020	1,000		9	
Árvore 4	Secção 1	0,022	0,016	0,750	0,019	3	Casca com aspecto enrugado, sem exsudação de seiva e madeira manchada apresentando forte odor.
	Secção 2	0,016	0,011	0,750		5	
Árvore 5	Secção 1	0,034	0,023	0,900	0,036	6	Casca com aspecto normal, com exsudação de seiva a partir dos orifícios e madeira manchada apresentando forte odor.
	Secção 2	0,023	0,021	0,900		13	
Média ± σ	Secção 1	0,039 ± 0,008	0,028 ± 0,008	0,910 ± 0,112	0,044 ± 0,016	5,4 ± 3,1	
	Secção 2	0,028 ± 0,008	0,023 ± 0,008	0,910 ± 0,112		18,6 ± 16,7	

*As árvores foram seccionadas logo acima do porta-enxerto, pois somente o enxerto apresentava ataque, as secções referem-se as partes que foram fragmentadas em cada árvore. Assim, o maior diâmetro da Secção 1, corresponde a parte seccionada próxima ao porta-enxerto; o menor diâmetro (Ø) da Secção 1 e o maior diâmetro da Secção 2 correspondem a parte seccionada no meio do caule da planta; e, por fim, o menor diâmetro da Secção 2, corresponde ao topo da árvore.

**Cubagem por Smalian, volume com casca.

*** Desvio padrão da média (σ).

Fonte: Jardel Boscardin (2012).

Das cinco plantas coletadas em Tunas (Tabela 2), observaram-se as características injúrias, sendo que: em duas (40 %), verificou-se a casca com aspecto normal, exsudação de seiva a partir dos orifícios e madeira manchada apresentando forte odor; nas outras duas (40 %), foi observada a casca com aspecto normal, sem exsudação de seiva e madeira manchada apresentando forte odor; e, por fim, em uma das plantas (20 %), constatou-se a casca com aspecto enrugado, sem exsudação de seiva e madeira manchada apresentando forte odor (Tabela 2).

Encontrou-se assim, correlação significativa positiva para o comprimento na Secção 1 ($r = 0,915$, $p < 0,05$) e Secção 2 ($r = 0,791$, $p < 0,05$), ou seja, quanto maior o comprimento dessas secções, maior o número de orifícios e entrada e/ou emergência dos broqueadores. Esse fato é corroborado pela correlação significativa positiva encontrada para a variável volume ($r = 0,952$, $p < 0,05$), que indica que quanto maior o volume, maior o número de orifícios utilizados pelos insetos broqueadores.

Ressalta-se que os relatos da sintomatologia de ataque de escolitíneos em plantas de nogueira-pecã, também ocorreram em outras cidades do estado do Rio Grande do Sul, no mesmo período. Entre as quais, destacam-se Quevedos, São Pedro do Sul, São Francisco de Assis e Passo Fundo, no entanto, não se obteve maiores detalhes sobre a quali-quantificação das injúrias nessas cidades. Os ataques de escolitíneos a nogueira-pecã nos municípios do sul do Brasil citados foram verificados em 2012, não reincidindo em 2013 e 2014.

DISCUSSÃO

A hipótese levantada para explicar o ataque dos insetos broqueadores, consiste no estresse hídrico provocado nas plantas pelo longo período de estiagem verificada durante o período vegetativo do ano anterior (2011-2012), no Rio Grande do Sul, visto que nos anos posteriores, 2013 e 2014 não houve relato da presença de broqueadores nessas áreas. Assim, a falta de chuvas pode ter causado estresse nas plantas de nogueira-pecã o que fez com que estas atraíssem os insetos por meio da emissão de compostos fenólicos. Nesse sentido, em sua região de ocorrência natural, a nogueira-pecã necessita o mínimo de 510 mm de chuvas durante o período de crescimento (PETERSON, 1990).

Quanto as espécies identificadas, no Brasil, espécies do gênero *Corthylus* Erichson, 1836 estão associadas: ao abacateiro *Persea americana* Mill. (Lauraceae), a acácia-negra *Acacia mearnsii* De Wild. (Fabaceae), a ameixeira *Prunus* sp. (Rosaceae), ao cafeeiro *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), ao eucalipto *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae), ao *Pinus taeda* L. (Pinaceae), a seringueira *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) (Euphorbiaceae), às florestas nativas (COSTA LIMA, 1956; SILVA et al., 1968; DORVAL; FILHO; MARQUES, 2004; MÜLLER; ANDREIV, 2004; MURARI, 2005; PELENTIR, 2007; BERNARDI et al., 2010; MACHADO, 2013; BASTOS, 2013; MACHADO et al., 2014; COVRE; SILVA; FLECHTMANN, 2015).

Enquanto que as espécies pertencentes ao gênero *Xyleborinus* Reitter, 1913 no país, encontram-se associadas à *A. mearnsii*, *H. brasiliensis*, *P. taeda*, e *S* florestas nativas (MURARI, 2005; BERNARDI et al., 2010; MACHADO, 2013; MACHADO et al., 2014; SILVA; PINHEIRO; FLECHTMANN, 2015).

No Brasil, foram relatadas duas outras espécies de escolitíneos em nogueira-pecã. Em dezembro de 2016 e janeiro de 2017, em Guarapuava, Paraná, foi identificada a

espécie *Xyleborus retusus* (Eichhoff, 1868), e em novembro e dezembro de 2017 e janeiro de 2018, em Pântano Grande, Rio Grande do Sul, foi identificada a espécie *X. ferrugineus* (POLETTTO et al., 2020). As injúrias ocasionadas pelas espécies broqueadoras observadas pelos autores anteriormente citados, foram similares às encontradas em plantas de nogueira-pecã, nos municípios do Rio Grande do Sul, em 2012.

Segundo Flechtman (2014), os besouros da ambrosia são xilomicetófagos e predominam na região Neotropical, possuem uma forte associação com fungos simbióticos, em sua maioria ascomycetos das ordens Ophiostomatales e Microascales (muitas associações com *Fusarium* já foram documentadas). Os fungos são transportados nas micângias, que podem estar localizadas entre as peças bucais, o tórax ou élitros dos insetos, estando presentes nas fêmeas, nos machos ou em ambos.

Euplatypus segnis (Chapuis, 1865) (Coleoptera: Curculionidae, Platypodinae), por exemplo, constitui-se em uma espécie de besouro da ambrosia do tronco e galhos da nogueira-pecã, associada as espécies de fungos *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Alternaria alternata* e *Lasiodiplodia theobromae*, que provocam a morte de plantas de *C. illinoensis*. Em algumas regiões do México estimam-se perdas de mais de 20 % da produção por essa combinação de insetos com fungos fitopatogênicos (ALVIDREZ-VILLARREAL et al., 2010). Assim, é considerada uma praga de importância econômica para a pecanicultura no México, e sua distribuição, atualmente, encontra-se restrita a alguns estados produtores do norte daquele país (SENASICA, 2013).

Alvidrez-Villarreal et al. (2012), realizaram teste de patogenicidade, com o besouro da ambrosia *E. segnis*, a partir da utilização de uma suspensão de conídios de *F. oxysporum*, *F. solani*, *A. alternata* e *L. theobromae* em plantas saudáveis de nogueira-pecã. Os autores constataram a morte dos galhos das árvores 84 dias após a inoculação, e concluíram que o inseto em combinação com a invasão fúngica, eventualmente, podem causar a morte das plantas, além de contribuírem para a propagação dos fungos nos pomares.

Samaniego-Gaxiola et al. (2008) avaliaram a associação da podridão texana causada pela espécie de fungo *Phymatotrichopsis omnivora* (Duggar) Hennebert, (1973) (Rhiziniaceae), com a ocorrência de brocas da nogueira-pecã, com destaque para *E. segnis*. Os autores verificaram um aumento significativo da frequência de ataque das brocas, na medida em que aumentou o número de plantas de *C. illinoensis* apresentando sintomas de ataque de *P. omnivora* e déficit de umidade do solo. Toamando o estudo anteriormente citado como exemplo, é necessária a identificação das espécies de insetos e de possíveis patógenos presentes no lenho atacado, a fim de averiguar os verdadeiros motivos que levaram aos ataques dos insetos e a morte de plantas de *C. illinoensis*, bem como monitorar as espécies de besouros de ambrosia que ocorrem em nogueira-pecã no sul do Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As espécies de coleobrocas ocorrem associadas a diversas espécies florestais nativas e exóticas encontradas no Brasil, podendo causar danos significativos na madeira, comprometendo sua qualidade para fins madeireiros.

Para a Engenharia Industrial Madeireira é essencial o conhecimento da qualidade da madeira utilizada como matéria prima no processamento dos produtos destinados à indústria madeireira. Nesse aspecto, os estudos de espécies de coleobrocas associadas às culturas florestais são necessários para caracterizar às injúrias e danos ocasionados por essas espécies-praga, nas diferentes regiões do país.

Portanto, este é o primeiro registro de *Corthylus* sp.1, *Corthylus* sp.2 e *Xyleborinus* sp. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), causando injúrias ao caule de plantas de nogueira-pecã, no sul do Brasil.

■ REFERÊNCIAS

1. ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
2. ALVIDREZ-VILLARREAL, R. et al. Isolation and pathogenicity of fungi associated to ambrosia borer (*Euplatypus segnis*) found injuring pecan (*Carya illinoensis*) wood. **Agricultural Sciences**, v. 3, n. 3, p. 405-416, 2012. Doi: 10.4236/as.2012.33048
3. ALVIDREZ-VILLARREAL, R. et al. Metabolitos secundários em tecido de nogal pecanero dañado por el barrenador ambrosial (*Euplatypus segnis* Chapuis) y hongos asociados. **Revista Agraria**, v. 7, n. 1-3, p. 26-33, 2010.
4. BASTOS, E. A. S. **Influência da concentração de etanol na coleta de scolytíneos (Coleoptera, Curculionidae) em área de mata nativa no município de Campo Verde-MT**. 2013. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT. 2013.
5. BERNARDI, O. et al. Coleópteros coletados com armadilhas luminosas e etanólicas em plantio de *Eucalyptus* spp. no sul do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 579-588, 2010. Doi: <https://doi.org/10.5902/198050982416>
6. BERTI FILHO, E. Coleópteros e importância florestal: 1 – Scolytidae. **IPEF**, n. 19, p. 39-43, 1979.
7. CARRANO-MOREIRA, A. F. **Manejo integrado de pragas florestais: conceitos, fundamentos ecológicos e táticas de controle**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2014. 349 p.
8. COSTA LIMA, A. M. **Insetos do Brasil: Coleoptera - 10º Tomo (4ª parte)**. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia. Cap. 29. 1956. p. 3-371.

9. COVRE, L. S.; SILVA, J. C. P.; FLECHTMANN, C. A. H. Scolytinae and Platypodinae (Curculionidae) in *Hevea brasiliensis*: from implantation to clearcutting. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HEVEICULTURA, 4., 2015, São José do Rio Preto/SP. **Anais...** São José do Rio Preto: CEDRAGO, 2015, p. 1-4.
10. DORVAL, A.; FILHO, O. P.; MARQUES, E. N. Levantamento de Scolytidae (Coleoptera) em plantações de *Eucalyptus* spp. em Cuiabá, Estado de Mato Grosso. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 47-58, 2004. Doi: <https://doi.org/10.5902/198050981780>
11. FLECHTMANN, C. A. H. **Curculionidae (Scolytinae e Platypodinae) vetores de fungos fitopatogênicos**. 2014. Palestra realizada no XXXVII Congresso Paulista de Fitopatologia, em 11 fev. 2014.
12. FLECHTMANN, C. A. H. et al. **Manual de pragas em florestas: Scolytidae em reflorestamento com pinheiros tropicais**. v. 4. Piracicaba: IPEF, 1995. 201 p.
13. MACHADO, L. M. **Determinação da altura de voo de escolitídeos em mata nativa e em povoamento de *Pinus taeda***. 2013. 56 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2013.
14. MACHADO, L. M. et al. Escolitíneos associados a uma população de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Biotemas**, v. 27, n. 3, p. 57-63, 2014. Doi: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n3p57>
15. McWILLIAMS, J. **The Pecan: A History of America's Native Nut**. Austin: Hardcover, 2013. 178 p.
16. MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.
17. MOURA, R. G. et al. Coleobrocas (Insecta: Coleoptera) associadas à madeira de *Tectona grandis* Linn. f (Lamiaceae). **Revista de Agricultura**, v. 83, n. 1, p. 35-46, 2008. Doi: <https://doi.org/10.37856/bja.v83i1.256>
18. MÜLLER, J. A.; ANDREIV, J. Caracterização da família Scolytidae (Insecta: Coleoptera) em três ambientes florestais. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 39-45, 2004.
19. MURARI, A. B. **Levantamento populacional de Scolytidae (Coleoptera) em povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild)**. 2005. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
20. PEDROSA-MACEDO, J. H. et al. **Pragas Florestais do Sul do Brasil**. v. 2. Viçosa: IPEF/SIF, 1993. 112 p.
21. PELENTIR, S. C. S. **Eficiência de cinco modelos de armadilhas etanólicas na coleta de Coleoptera: Scolytidae, em floresta nativa no município de Itaara RS**. 2007. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
22. PETERSON, J. K. *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch pecan. In: BURNS, R. M.; HONKALA, B. H. (Orgs.) **Silvics of North America**. vol. 2. Hardwoods. Washington: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1990. p. 205-210.
23. POLETO, T. et al. Scolytinae species damaging *Carya illinoensis* trees in southern Brazil. **Revista Ceres**, v. 67, n. 2, p. 147-151, 2020. Doi: 10.1590/0034-737X202067020008

24. REE, B.; KNUTSON, A. **Field guide to the insects and mites associated with pecan**. Texas: TX A&M Univ. System Publ. B-6055, 1997. 127 p.
25. SAMANIEGO-GAXIOLA, J. A. et al. Asociación entre pudrición texana (*Phymatotrichopsis omnivora*) e insectos barrenadores del nogal (*Carya illinoensis*). **Agricultura Técnica en México**, v. 34, n. 1, p. 21-32, 2008.
26. SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. **Barrenador del tronco del nogal (*Euplatypus segnis* Bright & Skidmore)**. México, DF: Dirección General de Sanidad Vegetal, 2013. 15 p. (Ficha Técnica, 8)
27. SILVA, A. G. A. et al. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil: seus parasitos e predadores**. Edição Ampliada, Parte II - 1º Tomo, Insetos, Hospedeiros e Inimigos Naturais. Rio de Janeiro, GB: Departamento de Defesa e inspeção agropecuária, Serviço de Defesa Sanitária Vegetal, – Brasil 1968, p. 1-622.
28. SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p.71-78, 2002.
29. SILVA, J. C. P.; PINHEIRO, G. C.; FLECHTMANN, C. A. H. Influence of tapping on the abundance of Scolytinae and Platypodinae (Curculionidae) in *Hevea brasiliensis* in Northwestern São Paulo State, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HEVEICULTURA, 4., 2015, São José do Rio Preto/SP. **Anais...** São José do Rio Preto: CEDRAGO, 2015, p. 1-4.
30. SOLOMON, J. D.; PAYNE, J. A. **A Guide to the Insect Borers, Pruners, and Girdlers of Pecan and Hickory**. General Technical Report SO-64. New Orleans: United States Department of Agriculture, 1986. 31 p.
31. STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater-RS/ASCAR, 2008. 222p.
32. THOMPSON, T. E.; CONNER, P. Pecan. In: BADENES, M. L.; BYRNE, D. H. (Eds.). **Handbook of Plant Breeding**, 1, vol. 8, Fruit Breeding, Part 4. New York: Springer Publishing, 2012. p. 771-801.

“

Comportamento e caracterização longitudinal da massa específica e densidade básica da madeira de espécies nativas física da madeira; sentido base-topo; espécie nativa

▮ Luana **Candaten**
ESALQ/USP

▮ Eduarda **Bandera**
UFSM/FW

▮ Tauana de Souza **Mangini**
UFSM/FW

▮ Laura da Silva **Zanchetta**
UFSM/FW

▮ Rômulo **Trevisan**
UFSM/FW

▮ Jonathan Willian **Trautenmüller**
UFPR

▮ Elias Costa de **Souza**
ESALQ/USP

▮ Annie Karoline de Lima **Cavalcante**
ESALQ/USP

▮ Gabriel Takahashi **Okabe**
ESALQ/USP

▮ Luisa Gavaldon **Pereira**
ESALQ/USP

RESUMO

Objetivo: Avaliar o comportamento e caracterização longitudinal da massa específica e densidade básica da madeira de espécies nativas, com ênfase na madeira de *Parapiptadenia rigida*. **Métodos:** A madeira de Angico-vermelho foi coletada e posteriormente seccionada em discos nas posições base (0,10 m), diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial definida pelo primeiro galho vivo, para a confecção das cunhas determinando o teor de umidade, massa específica básica e massa específica aparente saturada. A determinação das massas específicas básica e aparente ponderadas foram utilizadas as massas específicas ao longo do fuste, os volumes sem casca entre essas posições e o comercial sem casca da árvore definidos pelo método de Smalian. **Resultados:** Os resultados obtidos indicaram uma redução da massa específica básica conforme ocorreu o aumento do teor de umidade e no sentido da altura comercial, tanto para o material de Angico-vermelho bem como para as demais espécies nativas utilizadas nos parâmetros comparativos. O teor de umidade apresentou uma tendência de acréscimo ao longo do fuste, porém sem interferência estatística. A massa específica básica ponderada em função do volume comercial sem casca da espécie, com valor igual a $0,750 \text{ g/cm}^3$, foi caracterizada como moderadamente pesada; já a massa específica aparente saturada ponderada apresentou um valor de $1,240 \text{ g/cm}^3$. A massa específica aparente saturada não foi influenciada pela posição base-topo. **Conclusão:** As propriedades físicas de massa específica aparente seco ao ar e densidade básica das espécies nativas estudadas apresentam um comportamento homogêneo no perfil longitudinal das árvores, com valores distintos entre si e até mesmo dentro de mesma espécie.

Palavras-chave: Física da Madeira, Sentido Base-Topo, Espécie Nativa.

INTRODUÇÃO

O estudo de espécies nativas apresenta importância no âmbito econômico e ambiental pois, associado a um manejo adequado e sustentável, pode colaborar para a utilização da madeira nos mais variados fins. Aliado a isso soma-se a exploração e demanda crescente por material com qualidade compatível, fato esse que não tem acompanhado a evolução da pesquisa científica (Silva et al., 2009).

Dentre essas espécies de origem nativa destaca-se a família Fabaceae que compreende cerca de 158 gêneros (Polhill, 1994) e, aproximadamente, 2.250 espécies tropicais e subtropicais (Schrire et al., 2005). A *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, pertence à essa família e ao gênero *Anadenanthera*, conhecida popularmente como Angico-vermelho e nativa do Rio Grande do Sul, pode ser considerada uma das mais importantes matérias-primas com relação à qualidade e estética, porém tem escassa literatura a seu respeito.

A caracterização da madeira a partir da determinação de suas propriedades físicas como, por exemplo, a massa específica, é um importante subsídio para o entendimento da qualidade (Oliveira et al., 2005). Assim, essa característica, por ser influenciada por diversos fatores como idade, origem, espaçamento e incremento pode, associada com outras propriedades tecnológicas, indicar o uso correto do material para os mais variados fins (Silva et al., 2015).

De maneira geral, Vale et al., (2005) destacaram que elevados valores de massa específica podem resultar em aumento na dureza do material, assim como uma maior quantidade de lenho por unidade de volume, características vantajosas na confecção de estruturas de madeira e na produção de energia. Já Zaque et al., (2018) relataram que materiais com maior massa específica possuem paredes celulares mais alongadas e lumens menores resultando em poucos espaços vazios e influenciando no seu teor de umidade que, nessas condições, apresenta-se menor.

Além da determinação dessas características, as variações das propriedades físicas nos sentidos medula-casca e base-topo são determinantes e podem servir como indicadores de trabalhabilidade do material nas diferentes posições do tronco. Da mesma forma a obtenção da massa específica básica ponderada é importante para amenizar possíveis erros e alterações que ocorrem nos dispares locais ao longo do fuste da árvore (Bruder, 2012; Gouvêa et al., 2011).

OBJETIVO

Determinar o comportamento e caracterização longitudinal da madeira de espécies nativas, de acordo com a descrição base-topo da massa específica e densidade básica, com ênfase na madeira de *Parapiptadenia rigida*.

MÉTODOS

Para a condução do trabalho um indivíduo de Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*) foi selecionado e, após o abate, cubado pelo método de Smalian. Em seguida foram amostrados discos com, aproximadamente, 2 cm de espessura nas posições da base (0,10 m), diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial determinada pelo primeiro galho vivo. O material foi identificado, acondicionado em sacos plásticos e transportado ao Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen, onde os discos foram imersos em água para a completa saturação das fibras.

Após esse procedimento foram marcadas e seccionadas duas cunhas simetricamente opostas contendo a medula, as quais tiveram seu peso mensurado pelo método gravimétrico e o volume determinado pela balança hidrostática na condição saturada. Para obtenção do peso seco a 0% de umidade as amostras foram inseridas em estufa à 103 ° C até peso constante.

A partir dos dados obtidos foi possível determinar a massa específica básica (Equação 1), a massa específica aparente saturada (Equação 2) as massas específicas básica e saturada ponderadas em função do volume comercial sem casca (Equação 3) e o teor de umidade de base seca (Equação 4), obtidas pela metodologia proposta na ASTM D-143 (1995).

$$Me \text{ básica} = \frac{P0\%}{Vv} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Me básica = massa específica básica (g/cm³); P0% = peso seco em estufa (g); Vv = volume saturado (cm³).

$$Mea \text{ saturada} = \frac{Ps}{Vv} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde Mea saturada = massa específica aparente saturada (g/cm³); Ps = peso saturado (g); Vv = volume saturado (cm³).

$$Mex \text{ pond} = \frac{\left[\left(\frac{Mex0\% + MexDAP}{2} \right) v1 \right] + \left[\left(\frac{MexDAP + Mex25\%}{2} \right) v2 \right] + \left[\left(\frac{Mex''i + Mex''i+1}{2} \right) v''i \right]}{vs/c} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: Mex pond = massa específica básica ou saturada ponderada em função do volume sem casca da árvore (g/cm³); Mex ''i'' = massa específica básica ou ponderada na posição ''i'' (g/cm³); v1, v2, v''i'' = volume sem casca correspondente a duas posições sucessivas (cm³); vs/c = volume sem casca da árvore (cm³).

$$TU = \frac{Pu - P0\%}{P0\%} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: TU = teor de umidade (%); Pu = peso saturado (g); P0% = peso seco em estufa (g).

Os dados de massa específica básica e aparente saturada foram relacionados com o teor de umidade e a posição ao longo do fuste utilizando análise de regressão para delineamento experimental inteiramente casualizado com o auxílio do software estatístico *Stratgraphics*.

RESULTADOS

As propriedades físicas obtidas podem ser observadas na Tabela 1 onde estão os dados de massa específica básica e massa específica aparente saturada, assim como o teor de umidade nas respectivas posições em função da altura comercial. A maior massa específica básica encontrada foi a 25% da altura enquanto a menor a 100%. Já para a massa específica aparente saturada o valor mais elevado foi observado a 20,8%, enquanto o menor a 75% do primeiro galho vivo. Para a característica física de teor de umidade o maior e menor valor ao longo do fuste ocorreram nas posições de 100% e 25%, respectivamente, com média igual 68,7%.

Tabela 1. Valores médios das propriedades físicas de massa específica básica (Me básica), massa específica aparente saturada (Mea saturada) e teor de umidade em função da posição relativa no sentido base-topo da madeira de *Parapiptadenia rigida*.

Posição relativa (%)	Me básica (g/cm ³)	Mea saturada (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)
1,6	0,750 (±0,023)	1,245 (±0,052)	68,8 (±2,22)
20,8	0,756 (±0,016)	1,264 (±0,044)	68,9 (±0,06)
25	0,770 (±0,018)	1,246 (±0,012)	66,3 (±0,07)
50	0,750 (±0,032)	1,254 (±0,018)	67,4 (±4,62)
75	0,736 (±0,000)	1,212 (±0,049)	68,7 (±1,01)
100	0,721 (±0,012)	1,241 (±0,010)	72,3 (±1,49)

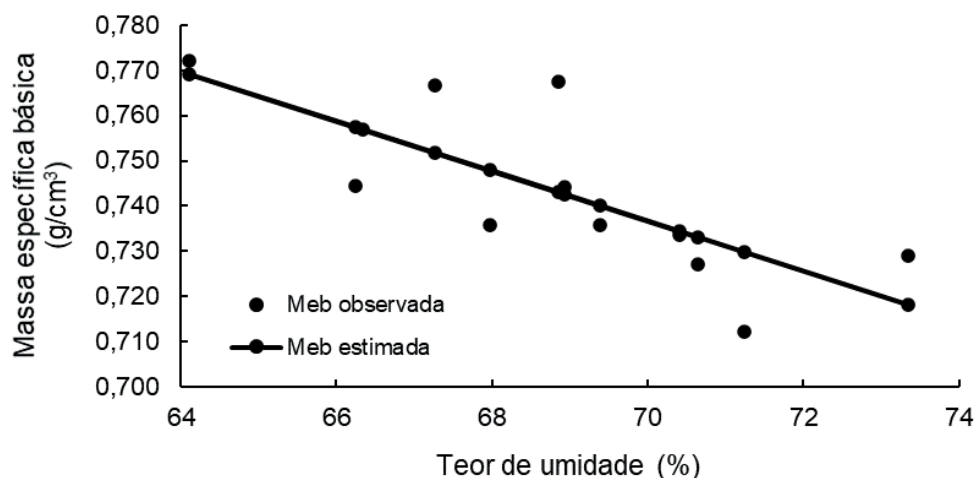
Onde: Números entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Com relação aos dados de massa específica básica para o indivíduo de Angico-vermelho o intervalo encontrado foi de 0,712 e 0,772 g/cm³. Já essa propriedade ponderada em função do volume comercial sem casca apresentou um valor igual a 0,750 g/cm³. A massa específica aparente saturada ponderada foi igual a 1,245 g/cm³ com valor máximo e mínimo de 1,296 e 1,177 g/cm³, respectivamente.

A propriedade física de massa específica básica demonstrou uma tendência inversamente proporcional com o acréscimo de umidade no material (Figura 1). Cabe ressaltar que a equação de regressão ($Meb = 1,12271 - 0,00551386 \cdot TU$) apresentou um coeficiente

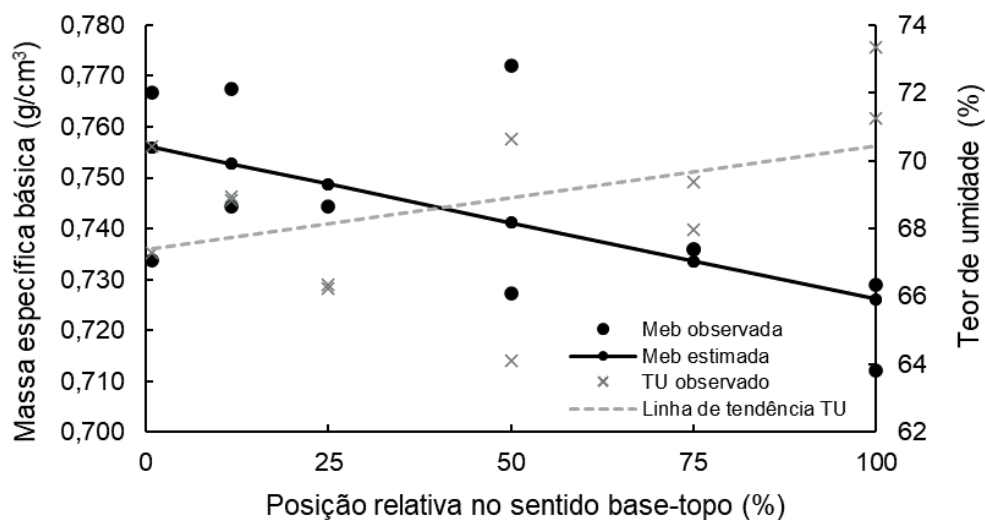
de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) de 0,50, coeficiente de correlação igual a - 0,74, sendo significativa a 1% de probabilidade de erro ($Prob.>F_{cal} = 0,0093$).

Figura 1. Relação entre a massa específica básica e o teor de umidade na madeira de *Parapiptadenia rigida*.



A massa específica básica diminuiu no sentido longitudinal da árvore, ao contrário do teor de umidade que teve uma tendência de acréscimo na condição base-topo (Figura 2).

Figura 2. Relação entre a massa específica básica e teor de umidade em função da posição relativa no sentido base-topo na madeira de *Parapiptadenia rigida*.



O teor de umidade apresentou uma tendência de acréscimo no sentido base-topo, porém esse comportamento não foi significativo estatisticamente. Da mesma forma, a relação entre a massa específica aparente saturada e o teor de umidade não mostrou diferença estatística.

Uma comparação com demais espécies nativas cultivadas em regiões semelhantes, pode ser observada na Tabela 2, onde são apresentadas as propriedades físicas de massa específica e densidade básica e comportamento longitudinal.

Tabela 2. Informações acerca das propriedades físicas básicas de algumas espécies nativas cultivadas no Brasil.

Nome Científico	Nome Comum	Massa específica aparente seco ao ar (12%) (g/cm ³)	Massa específica aparente saturada (g/cm ³)	Massa específica básica (g/cm ³)	Varição longitudinal	Referência
<i>Eugenia rostrifolia</i>	Batinga	-	1,235	0,694	Decréscimo	Candaten et al., (2020)
<i>Ocotea pulchella</i>	Canela-do-brejo	0,663	1,097	0,480	Decréscimo	Mangini et al., (2020)
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	Ipê-amarelo	0,913	1,157	0,684	-	Candaten et al., (2020)
<i>Cordia trichotoma</i>	Louro-pardo	0,508	1,079	0,379	Decréscimo com oscilação	Zanchetta et al., (2020)
<i>Cordia americana</i>	Guajuvira	0,687	1,152	0,484	Decréscimo com oscilação	Zanchetta et al., (2020)
<i>Myrcianthes pungens</i>	Guabiju	-	1,254	0,725	Decréscimo	Candaten et al., (2019)
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira-do-mato	-	1,136	0,534	Decréscimo	Candaten et al., (2018)

De acordo com o observado na Tabela 2, a tendência de redução da massa específica seco ao ar e densidade básica da madeira de espécies nativas no sentido base-topo das árvores é um comportamento recorrente. Já, a variação dos valores médios dessas propriedades é notável entre e dentre espécies, corroborando a antiga discussão existente a respeito.

DISCUSSÃO

Para os valores médios ponderados obtidos para a massa específica básica, de acordo com a classificação de Carvalho (1996), por situar-se na amplitude de 0,650 a 0,790 g/cm³ pode ser considerada moderadamente pesada.

A variação inversamente proporcional da massa específica básica em relação ao teor de umidade, se deve, provavelmente, em função da água presente internamente na madeira, que influenciou no tamanho das paredes celulares e lumens regulando as umidades máximas e mínimas, fazendo uma relação direta entre a massa específica e o teor de umidade (Melo, 2013; Vale et al., 2005).

A relação da massa específica básica e o teor de umidade observada também foi semelhante ao estudo de Oliveira et al., (2005). De maneira geral, esses dados podem indicar a qualidade mecânica do material pois, conforme estudo desenvolvido por Freitas et al., (2015), quanto maior a condição de umidade da madeira menor sua resistência à flexão estática.

O decréscimo da massa específica básica ao longo do fuste corroborou com a pesquisa de Teixeira et al., (2011) que estudaram essa característica para a madeira de *Anadenanthera peregrina*. A redução a medida em que houve o aumento da altura comercial também foi observada por Trautenmüller et al., (2014) analisando essa mesma propriedade para a madeira de *Cordia americana*.

CONCLUSÃO

A massa específica básica reduz a medida em que ocorre o aumento o teor de umidade da madeira de *Parapiptadenia rigida* e apresenta esse mesmo comportamento ao longo do fuste da árvore.

O teor de umidade tem uma tendência de aumento no sentido base-topo. A massa específica aparente saturada não é influenciada pelas situações estudadas.

Ao comparar e agrupar essas informações com demais espécies nativas, é possível concluir que existe uma tendência homogênea de redução dessa propriedade da base para o topo da árvore, porém, com relação aos valores médios, esses são distintos entre as espécies.

■ REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-94**: standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, 1995.
2. BRUDER, E.M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp.** 2012. 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu.
3. CANDATEN, L.; BANDERA, E.; MANGINI, T. de S.; ZANCHETTA, L. da S.; TREVISAN, R. Massa específica básica, aparente saturada e teor de umidade da madeira de *Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16 n. 29; p. 2019-1026, 2019. DOI: 10.18677/EnciBio_2019A85.
4. CANDATEN, L.; MANGINI, T. de S.; BANDERA, E.; ZANCHETTA, L. da S.; TREVISAN, R.; TRAUTENMÜLLER, J. Variação das características físicas da madeira de *Eugenia rostrifolia*. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 2, p. 1035-1042, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34062/afs.v7i2.10017>.
5. CANDATEN, L.; DALLA COSTA, H. W.; TREVISAN, R.; ELOY, E.; KULCYNSKI, S. M. Physical-mechanical properties and biological resistance of thermally modified juvenile *Handroanthus chrysotrichus* wood. **Rev. Ciênc. Agrar.** v. 63, 2020.
6. FREITAS, T. P.; FEUCHARD, L. D.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ARANTES, M. D. C. Caracterizações anatômica e físico-mecânica da madeira de *Liquidambar* sp. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 723-734, 2015.
7. GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R.; ALVES, I. C. N. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista árvore**, v. 35, n. 2, p. 349-358, 2011.
8. MANGINI, T. de S.; CANDATEN, L.; BANDERA, E.; ZANCHETTA, L. da S.; FELIPPI, V.; TREVISAN, R.; TRAUTENMÜLLER, J. W. Densidade e teor de umidade da madeira de *Ocotea pulchella* (NEES) MEZ. **BIOFIX Scientific Journal** v. 5 n. 2 p. 259-263 2020. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i2.73072](https://doi.org/10.5380/biofix.v5i2.73072).

9. MELO, R. R. de. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira**, v. 04, n. 02, p. 152-175, 2013.
10. OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005
11. POLHILL, R.M. **Classification of the Leguminosae**. In: F.A. Bisby; J. Buckingham & J.B. Harbone (eds.). *Phytochemistry dictionary of the Leguminosae*. New York, Chapman and Hall, P. 45-54, 1994.
12. SCHRIRE, B. D.; LEWIS, G. P.; LAVIN, M. Biogeography of the Leguminosae. In: G.P. Lewis; B. Schrire; B. Mackinder & M. Lock (eds.). *Legumes of the World*. Kew, **Royal Botanic Gardens**, P. 21-54, 2005.
13. SILVA, L. B.; SANTOS, F. de A. R. dos; GASSON, P.; CUTLER, D. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. **Botânica**, 2009.
14. SILVA, S. J. DA.; VALE, A. T. DO.; MIGUEL, E. P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 2015.
15. TEIXEIRA, B. M. DOS R.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. DE C.; LUCIA, R. M. D. Avaliação radial e longitudinal das propriedades mecânicas e da massa específica básica da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) (Speg.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 463-468, 2011.
16. TRAUTENMÜLLER, J. W.; BALBINOT, R.; BORELLA, J.; TREVISAN, R.; BALESTRIN, D.; VENDRUSCULO, R.; SABADINI, A. M. Variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 817-821, 2014.
17. VALE, A. T. DO.; ROCHA, L. R.; MENEZZI, C. H. S. D. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, dez. 2009.
18. VALE, A. T. DO.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.
19. ZANCHETTA, L. da S.; BANDERA, E.; MANGINI, T. de S.; CANDATEN, L.; IORA, A. M.; TRAUTENMÜLLER, J. W.; TREVISAN, R.; ELOY, E. Massa específica e teor de umidade ao longo do fuste para *Cordia trichotoma* e *Cordia americana* e suas correlações. **Holos Environment**, v. 20, n. 4, p. 496-506, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v20i4.12399>.
20. ZAQUE, L. A. M.; FERREIRA, M. D.; MELO, R. R. Variação radial e longitudinal da massa específica básica da madeira de *Araucaria angustifolia* com diferentes idades. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 2018.

“

Desempenho mecânico de peças coladas de madeira de *Pinus elliottii* frente aos diferentes planos anatômicos

▮ Ricardo Marques **Barreiros**
UNESP

▮ Mariana Macedo **Lopes**
UNESP

▮ Cristiane Inácio de **Campos**
UNESP

▮ Cantídio Fernando **Gouvêa**
UFS

RESUMO

O gênero *Pinus* engloba centenas de espécies espalhadas por quase todo o Hemisfério Norte. No Brasil, após meados do século XX, foram introduzidas diferentes espécies desse gênero, sendo o *P. elliottii* uma das que melhor se aclimataram. A tecnologia pode melhorar essa madeira pouco densa, que encontrou condições climáticas favoráveis, cuja taxa de crescimento anual tem sido expressiva. Este trabalho verificou o desempenho de peças de madeira de *Pinus elliottii* coladas lateralmente nos diferentes planos anatômicos e submetidas a esforços de cisalhamento e tração normal às fibras. Pranchas centrais foram desdobradas em sarrafos, e nos planos anatômicos: radial, tangencial e misto (radial/tangencial). Esses sarrafos tiveram o tamanho de 60 cm de comprimento e 2,54 cm de espessura e de largura, que foram colados lateralmente com adesivo à base de Poli Acetato de Vinila, classe D4, resistente à umidade e gramatura de 100 g m⁻², nos diferentes planos anatômicos, ou seja: Tangencial com Tangencial (TT), Radial com Radial (RR), Tangencial com Radial (TR) e Misto (MM) e prensados a 100 KPa. O Misto se refere àqueles cortes que não são estritamente radiais nem tangenciais. Desses sarrafos, corpos de prova foram confeccionados e ensaiados segundo a ABNT, Norma Brasileira 7190 para testes de resistência à ruptura na lâmina de cola por esforços de cisalhamento e tração normal às fibras. Os planos anatômicos não influenciaram na resistência da linha de cola quanto ao cisalhamento, porém, quanto à tração normal, os planos RR apresentaram menor resistência em relação aos planos TT e RT.

Palavras-chave: Polivinil Acetato, Tração Normal, Cisalhamento, Resistência, Plano de Corte.

INTRODUÇÃO

Os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, na forma de reflorestamento, tornam-se como importante solução para suprir a crescente demanda por madeira e por produtos mais sustentáveis. Aliando-se ao fortalecimento das novas tecnologias de reaproveitamento da madeira, estão impondo uma tendência aos segmentos madeireiro e moveleiro e ao mercado de adesivos para colagem de madeira.

O reflorestamento é parte importante na solução para a diminuição do desmatamento existente sobre todas as florestas nativas, uma vez que estas não podem suprir a crescente demanda humana por madeira, mesmo se exploradas de forma racional e, no Brasil, as árvores de *Pinus* e *Eucalipto* são as mais utilizadas para esta finalidade (MANHÃES, 2008).

A redução da disponibilidade de espécies de madeiras provenientes de florestas nativas, a rápida industrialização e urbanização e o crescimento dos mercados externos vêm, gradativamente, exigindo dos fabricantes de adesivos ações mais efetivas para o desenvolvimento de adesivos com propriedades diferenciadas de aplicação e menos agressivos ao meio ambiente. Nos últimos anos, o aumento da demanda por produtos mais sustentáveis, aliado ao fortalecimento das novas tecnologias de reaproveitamento da madeira, está impondo uma tendência aos segmentos madeireiro e moveleiro e ao mercado de adesivos para colagem de madeira (OLIVEIRA, 2010).

O gênero *Pinus*, da família Pinaceae, é originário das regiões mais frias e engloba centenas de espécies espalhadas por quase todo o Hemisfério Norte, do Japão ao Caribe. No Brasil, após meados do século XX, foram introduzidas mudas de diferentes espécies desse gênero, sendo o *P. ellittii*, o *P. taeda* e o *P. hondurensis* as que melhor se aclimataram. A tecnologia tem sabido tirar proveito dessa madeira “fraca”, fruto do desenvolvimento precoce de uma árvore que encontrou um clima com condições favoráveis de insolação e umidade, cuja taxa de crescimento anual tem sido multiplicada por dez, ou mais vezes, em relação à original (GONZAGA, 2006).

O Brasil apresenta cerca de 1,6 milhões de hectares plantados com espécies do gênero *Pinus* (IBÁ, 2012), deste total, aproximadamente 20% desta área são de espécies tropicais (ABRAF, 2013). Desde a década de 90, a indústria brasileira de madeira processada mecanicamente tem sofrido um intenso processo de globalização, o qual foi marcado pela orientação da produção para o mercado internacional e pelo desenvolvimento dos produtores de beneficiamento de subprodutos de madeira (Produto de Maior Valor Agregado – PMVA). Isso garantiu maior competitividade para a indústria brasileira de madeira processada mecanicamente. As principais manufaturas de madeiras produzidas no Brasil são molduras, portas, pisos e *Edge Glued Panel* – EGP (Painel de Madeira Colada) (ABIMCI, 2006).

O espaço conquistado pelo *Pinus* no Brasil, como matéria-prima para os mais variados produtos, já demonstra a importância dessa cultura, a qual traz contribuição ímpar para um maior conhecimento sobre esse gênero e sua importância econômica, social e ambiental. O uso de material renovável e tecnologias novas e limpas estão cada vez mais ganhando mercado e a consciência da população, pois esses produtos contribuem para a manutenção do meio ambiente.

Dentre essas tecnologias “novas”, vislumbra-se a possibilidade do uso de materiais lignocelulósicos como os painéis de madeira. Os quais podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de ligações adesivas (IWAKIRI, 2005). Lima et al. (2008) firmam que a etapa de colagem é fundamental para uma moderna indústria de produtos reconstituído da madeira, promovendo um aproveitamento mais racional da matéria-prima e, ultimamente, vem se tornando uma necessidade, tanto pela tecnologia desenvolvida, quanto pela escassez de madeira sólida.

Os tipos de adesivos para a madeira são vários, dentre eles, destaca-se o adesivo vinílico à base de acetato de polivinila. O adesivo vinílico é um produto sintético, produzido a partir da polimerização do acetato de vinila disperso em água. Os adesivos vinílicos, como o acetato de polivinil (PVAc), são comumente chamados de “colas brancas” ou “adesivos PVA” e são largamente utilizados na colagem de madeira em inúmeras operações (DE CONTI, 2011). Os adesivos vinílicos são utilizados em colagens não estruturais de substratos em diversos segmentos da indústria moveleira e/ou madeireira, como, por exemplo, painéis, laminados, plásticos e de madeira, colagem de espiga e cavilha, *finger-joint*, entre outros.

Por ser à base de água, as resinas PVAc apresentam vantagens, como: facilidade e segurança no manuseio, inodora, não-inflamável, baixo custo, secagem rápida sob condições adequadas, fácil limpeza e estabilidade à estocagem (IWAKIRI, 2005).

O mecanismo do processo de adesão pode ser explicado por algumas teorias de ligações entre o adesivo e a madeira, das teorias de ligações químicas dos adesivos, ligações mecânicas e químico-mecânicas da interação entre o adesivo e a madeira, mas nenhuma delas é capaz de justificar todos os aspectos de aderência e, provavelmente, a combinação entre elas é o que mais se aproxima da realidade (FRIHART, 2005).

Com relação à madeira, duas das teorias mais importantes são o enganchamento mecânico e a teoria de adsorção. Segundo a teoria de enganchamento mecânico, a penetração do adesivo num substrato poroso leva à formação de ganchos ou entrelaçamento mecânico do adesivo, que se prende nas camadas superficiais da madeira após a cura e endurecimento do adesivo. Já a teoria da adsorção estabelece que a adesão é resultante do contato molecular entre dois materiais, que desenvolvem forças de atração superficiais.

Para que ocorra um contato íntimo e contínuo entre um adesivo e um substrato, é necessário que o adesivo umidifique a madeira, fenômeno que envolve a migração do adesivo para dentro da estrutura submicroscópica da parede celular, expulsando ar, água e outros componentes estranhos à superfície de contato da madeira. O umedecimento depende da natureza molecular do adesivo, qualidade até que o endurecimento do adesivo a imobilize (GALEMBECK; GANDUR, 2001).

Segundo Iwakiri (2005), as propriedades anatômicas da madeira estão relacionadas à condição de movimentação do adesivo para o interior da estrutura da madeira. Sendo assim, a influência da anatomia da madeira no desempenho da colagem está intrinsecamente ligada à porosidade e à permeabilidade. Marra (1992), diz que quando se considera as propriedades anatômicas da madeira, seus efeitos sobre o movimento dos adesivos, estão simplesmente atrelados à estrutura da madeira, ou seja, à capacidade de penetração e permeabilidade.

De acordo com Vick (1999), citado por Gaspar et al. (2005), a resistência das ligações adesivas cresce com o aumento da massa específica da madeira até um limite de 700 a 800 kg m⁻³, sendo que, acima deste valor a resistência da ligação decresce. Este efeito é explicado, pois, para valores muito elevados de massa específica, tem-se uma reduzida penetração de adesivo e uma resistência da madeira cada vez mais elevada, fazendo com que a ruptura possa ocorrer na linha de cola.

Nos ensaios de colagem, envolvendo substratos de madeira, alguns parâmetros são considerados para avaliar o desempenho da junta adesiva, entre eles a tensão de cisalhamento e a porcentagem de falha na madeira. Alta porcentagem de falha na madeira, associada ao elevado valor da tensão de cisalhamento, indica que o adesivo possui boa adesão e coesão. No entanto, se a porcentagem de desfibramento for baixa, isso indica a ruptura da junta adesiva na interface com o substrato, apresentando baixa adesão ou baixa coesão na interface com o substrato, em razão de fatores externos relacionados ao substrato e ao adesivo. Na maioria dos casos de ruptura da junta adesiva, tal fato ocorre no substrato ou na interface substrato-adesivo. Normalmente, as ligações adesivas são enfraquecidas na presença de umidade e temperatura (KABOORANI; RIEDL, 2011; CLAUB et al., 2011; STOECKEL et al., 2013).

OBJETIVO

Avaliar o desempenho de peças de madeira de *Pinus taeda*, coladas lateralmente, quando submetidas a esforços de cisalhamento e tração normal, em função dos planos anatômicos de corte da madeira, após colagem com adesivo PVAc, à base de Poliacetato de Vinila, classe D4, resistente à umidade.

MÉTODOS

O material utilizado nesta pesquisa foi oriundo de uma plantação de *Pinus elliottii* de uma empresa florestal situada no município de Itapeva-SP, a qual faz o beneficiamento de toras em madeira serrada de diversas bitolas.

Foram amostradas 3 toras basais de aproximadamente 250 cm de comprimento, que foram desdobradas em peças de aproximadamente 3 cm de espessura com o uso de Serra Circular, inclusive com o cuidado de se obter uma peça central. Essas peças foram encaminhadas para a secagem, com a obtenção de teores de umidade média de 12%. Posteriormente, as peças que tinham rachaduras nas extremidades foram destopadas e aplainadas de modo a se obter peças de superfícies uniformes com 2,54 cm de espessura como na Figura 1.

Figura 1. Peças da madeira de *Pinus elliottii* aplainadas.



Em seguida, as peças foram cortadas em sarrafos no tamanho de 60 cm de comprimento e largura de 2,54 cm com o auxílio de uma Serra Circular (Figura 2), obedecendo aos planos anatômicos de corte em relação aos anéis de crescimento da madeira: tangencial (T), radial (R) e misto (M). Este se refere àqueles cortes anatômicos, que não são estritamente radiais nem tangenciais.

Figura 1. Corte das peças em sarrafos com auxílio de uma Serra Circular.



Posteriormente, os sarrafos foram colados lateralmente (Figura 3) nos diferentes planos anatômicos, ou seja: Tangencial com Tangencial (TT), Radial com Radial (RR), Tangencial com Radial (TR) e Misto (MM), o qual se refere àqueles planos aleatórios, que não são estritamente radiais nem tangenciais.

Figura 3. Sarrafos colados lateralmente com adesivo à base de Poliacetato de Vinila.



O adesivo utilizado foi o PVac, à base de Poliacetato de Vinila, classe D4, resistente à umidade, com gramatura de 120-250 g m⁻². A pressão de prensagem foi de 100 KPa, e umidade próxima de 12%.

Desses sarrafos, foram confeccionados os corpos de prova (Figura 4) para a determinação da densidade básica e os ensaios de cisalhamento e tração normal.

Figura 4. Confecção dos corpos de prova.



Determinação da densidade básica da madeira

A densidade básica, definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado do corpo de prova, foi determinada pelo método da Balança Hidrostática e Equação 1:

$$\rho = \frac{m}{(ms - mi)} \quad (1)$$

Sendo:

m = é a massa seca do corpo de prova, em g;

ms = é a massa saturada do corpo de prova, em g;

mi = é a massa imersa do corpo de prova, em g;

ρ = é a densidade básica do corpo de prova, em g cm⁻³.

Foi realizada a saturação dos corpos de prova com a imersão em água. Não houve um tempo exato para a saturação, pois esse fenômeno varia conforme a permeabilidade da espécie e a região da árvore onde foi obtido o corpo de prova e o tratamento aplicado. A saturação completa deu-se quando o corpo de prova emergiu por completo e a massa saturada permaneceu constante. Para a completa saturação dos corpos de prova, foi também utilizado um tratamento a vácuo, onde as peças foram colocadas em um dessecador e através de uma bomba de vácuo, retirou-se o ar do sistema e, conseqüentemente, dos corpos de prova, de modo que isso facilitou igualou a saturação frente a alguma dificuldade específica.

Após a completa saturação, obteve-se a massa saturada e a massa imersa de cada corpo de prova, utilizando-se de uma Balança Hidrostática com precisão de 0,01g, cuja diferença de massa (saturada menos a imersa) determinou-se o volume saturado do corpo de prova. Depois de pesados, os corpos de prova, foram encaminhados para a secagem em estufa elétrica a 103 ± 2 °C. A massa seca dos corpos de prova foram consideradas quando se tornaram constantes, ou seja, quando entre uma pesagem da outra não houve mais variação.

Determinação da resistência ao cisalhamento

O cisalhamento é a resistência paralela às fibras da madeira, que é dada pela máxima tensão de cisalhamento, cujos esforços podem atuar na seção crítica de um corpo de prova prismático (NBR 7190, 1997), dada pela Equação 2:

$$Fv_0 = \frac{Fv_{0,máx}}{Av_0} \quad (2)$$

Sendo:

F_{v_0} = é a resistência do corpo de prova ao cisalhamento, em Mpa;

$F_{v_{0,máx}}$ = é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova, em N;

A_{v_0} = é a área inicial da seção crítica do corpo de prova, em um plano paralelo às fibras, em m².

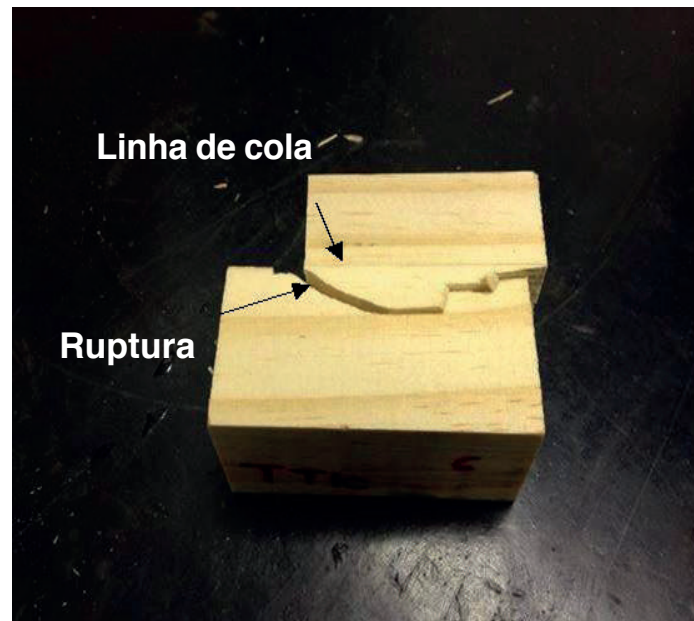
Foram ensaiados, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7190 (1997) para teste de resistência à ruptura na linha de cola por esforços de cisalhamento, 12 corpos de prova para cada plano anatômico de corte estudado: Tangencial com Tangencial (TT), Radial com Radial (RR), Tangencial com Radial (TR) e Misto com Misto (MM). Os testes mecânicos foram realizados em máquina universal de ensaios da marca EMIC com capacidade de 30 toneladas (Figura 5).

Figura 5. Ensaio de cisalhamento de um corpo de prova na máquina universal de ensaios.



Os corpos de prova foram submetidos à pressão de 100 kPa, onde se romperam nas proximidades da linha de cola após um determinado tempo (Figura 6).

Figura 6. Corpo de prova rompido no ensaio de cisalhamento.



Determinação da resistência à tração normal

A resistência à tração normal às fibras da madeira é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo de prova alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $2,5 A$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central (NBR 7190, 1997), dada pela Equação 3:

$$f_{t_{90}} = \frac{f_{t_{90,máx}}}{A_{wt,90}} \quad (1)$$

Sendo:

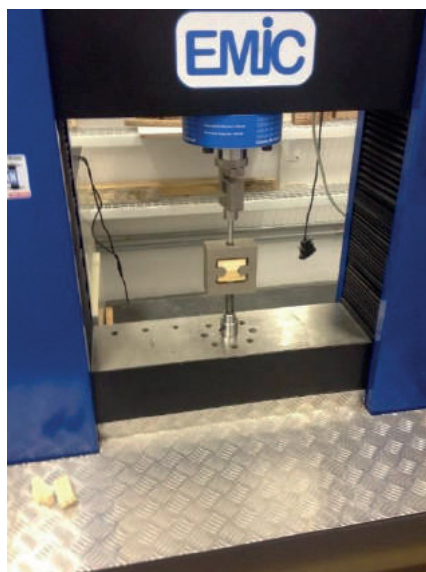
$f_{t_{90}}$ = é a resistência do corpo de prova à tração normal às fibras, em Mpa;

$f_{t_{90,máx}}$ = é a máxima força de tração normal aplicada ao corpo de prova, em N;

$A_{wt_{90}}$ = é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho alongado do corpo de prova, em m^2 .

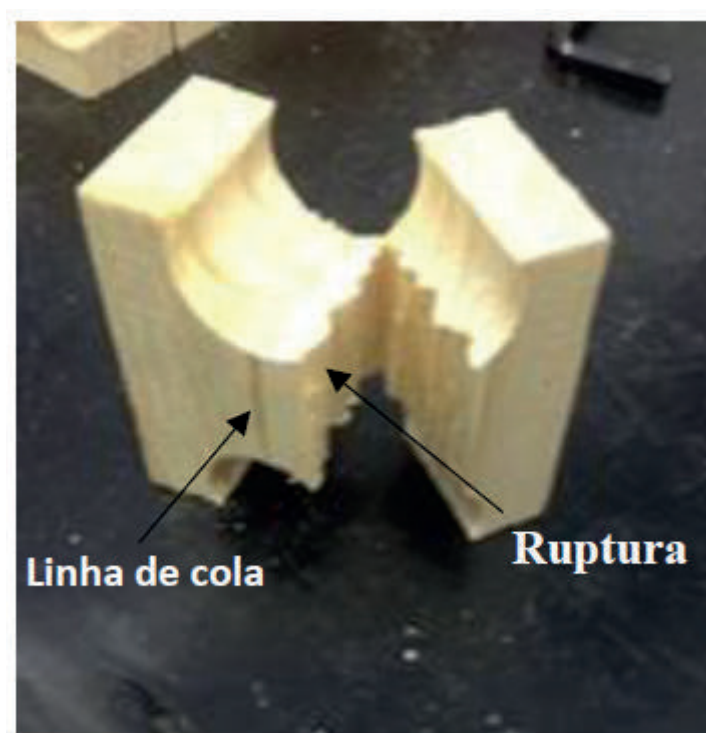
Neste caso também foram ensaiados, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7190 (1997) para teste de resistência à ruptura na linha de cola por esforços de tração normal, 12 corpos de prova para cada plano de corte estudado: Tangencial com Tangencial (TT), Radial com Radial (RR), Tangencial com Radial (TR) e Misto com Misto (MM). Os testes mecânicos também foram realizados em máquina universal de ensaios da marca EMIC com capacidade de 30 toneladas (Figura 7).

Figura 7. Ensaio de tração normal de um corpo de prova na máquina universal de ensaios.



Nestes ensaios, os corpos de prova também foram submetidos a uma pressão de 100 kPa, onde se romperam nas proximidades da linha de cola após um determinado tempo (Figura 8).

Figura 8. Corpo de prova rompido no ensaio de tração normal.



RESULTADOS

Os valores médios da resistência ao cisalhamento e da resistência à tração normal na linha de cola entre os planos anatômicos TT, RR, TR e MM foram calculados,

respectivamente, a partir das Equações 2 e 3, conforme a norma ABNT NBR 7190 (1997), e constam na Tabela 1.

Os valores médios da largura da linha de cola entre os planos anatômicos TT, RR, TR e MM foram medidos mediante *software QWin*, marca *Leica*, e constam na Tabela 1.

Os valores médios da densidade básica dos corpos de prova, referentes aos planos anatômicos TT, RR, TR e MM, foram determinados a partir da Equação 1 e método da Balança Hidrostática, e constam na Tabela 1.

Para todas as variáveis foi aplicado o Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 1. Valores médios referentes às resistências ao cisalhamento e tração normal, largura da linha de cola e densidade básica dos corpos de prova colados em diferentes planos anatômicos de corte da madeira de *Pinus elliottii* e análise estatística.

Planos	Cisalhamento	Tração	Lc	Db
Anatômicos	(Mpa)	(Mpa)	(μm)	(g cm^{-3})
TT	8,703 a	2,417 a	6,577 a	0,399 a
RR	8,391 a	1,800 b	5,404 a	0,368 ab
TR	8,842 a	2,354 a	7,250 a	0,367 ab
MM	8,875 a	2,059 ab	7,111 a	0,334 b
Cv	13,26	19,25	37,15	7,79

Sendo: Lc = Linha de cola; Db = Densidade básica; Cv = Coeficiente de variação; TT = Tangencial com Tangencial; RR = Radial com Radial; TR = Tangencial com Radial; MM = Misto. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

DISCUSSÃO

Pela análise estatística efetuada, nota-se que não houve variação na largura da linha de cola, apesar do coeficiente de variação encontrado bastante elevado, nem na resistência ao cisalhamento de nenhum dos planos anatômicos de corte colados.

Nota-se também, que a menor resistência à tração normal ocorreu entre os planos anatômicos de corte colados RR, apesar de não variar a linha de cola.

A densidade básica dos corpos de prova foi maior para as peças coladas com plano anatômico de corte TT do que no plano anatômico de corte misto, apesar do baixo coeficiente de variação encontrado, e não apresentou diferença estatística nos demais planos.

Analisando também um estudo feito por Paes et al. (2017), sobre resistência mecânica de peças coladas nos mesmos planos anatômicos de corte da madeira de *Persea americana* (Abacateiro), porém com o adesivo de poliuretano à base mamona, nota-se que apresentou um resultado bastante semelhante a este trabalho, onde também concluíram que os planos anatômicos de corte não afetaram na resistência mecânica de cisalhamento, ao contrário do ensaio de tração normal, que demonstrou ter mais resistência no plano TT e menor no RR.

CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto aos planos anatômicos de corte da madeira estudada e ao adesivo aplicado entre os planos, conclui-se que:

A densidade básica foi menor nos planos anatômicos de corte MM e maior no TT;

Nenhum dos planos anatômicos de corte colados lateralmente influenciou na largura da linha de cola entre os planos de corte, bem como na ruptura na linha de cola;

Nenhum dos planos anatômicos de corte colados lateralmente influenciou na resistência ao cisalhamento;

Os planos anatômicos de corte TT e TR apresentaram maior resistência à tração normal que o plano RR;

O plano misto não influenciou na resistência à tração normal às fibras.

Sugere-se que trabalhos com objetivo semelhante sejam elaborados com outras espécies do mesmo gênero ou não, mas que tenham potencial para o reflorestamento, visto que para o uso tecnológico na fabricação de painéis sarrafeados do tipo EGP (*Edge Glued Panel*), por exemplo, as informações obtidas tornam-se bastante relevantes.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Estudo setorial 2006**: indústria de madeira processada mecanicamente, ano base 2005. Curitiba, 2006. 51 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília, 2013. 136 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7190. **Ações nas estruturas, propriedades da madeira e dimensionamento nos estados limites de utilização**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
4. CLAUB, S.; JOSCAK, M.; NIEMZ, P. Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 69, p. 101-111, 2011.
5. DE CONTI, A. C. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus* sp.** 2011. 103f. Tese (Doutorado) – Câmpus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.
6. FRIHART, C.R. Adhesive bonding and performance testing of bonded wood products. **Journal of ASTM International**, v. 2, n. 7, p. 1-12, Jul/Aug 2005.
7. GALEMBECK, F.; GANDUR, M. C. Cientistas explicam o fenômeno da adesão. **Química e Derivados**, v. 393, p. 24-32, 2001.

8. GASPAR, F.; CRUZ, H.; NUNES, L.; GOMES, A. Fabrico de estruturas lameladas-coladas com madeira de Pinho Bravo tratada em autoclave. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, 5. 2005, Viseu, **Anais...** Lisboa, 2005.
9. GONZAGA, A. L. **Madeira: usos e conservação**. Brasília, DF: Iphan/Monumenta, 2006, 246 p.
10. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORE (IBÁ). **Relatório Ibá 2015**. Brasília, 2015. 80p. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf> Acesso em: 22 nov. 2017.
11. IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, 247p.
12. KABOORANI, A.; RIEDL, B. Effects of adding nano-clay on performance of polyvinyl acetate (PVA) as a wood adhesive. **Composites: Part A**, v. 42, p. 1031-1039, 2011.
13. LIMA, J. T.; BARAÚNA, E. E. P.; ALTOÉ, T. F.; MONTEIRO, T. C. Avaliação dos defeitos causados pela secagem por desumidificação na madeira de *Eucalyptus grandis*. In: ENCONTRO
14. BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 11, 2008, Londrina. **Anais...**, julho, 2008.
15. MANHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar**. 2008. 3f. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, p. 3, 2008.
16. MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.
17. OLIVEIRA, M. P. **Síntese de novos estabilizantes poliméricos do tipo poli (álcool vinílico co-neodecanoato de vinila) para utilização na copolimerização em miniemulsão do acetato de vinila com o neo-nonanoato de vinila (VEOVA-9)**. 2010. 266f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.
18. PAES, G. R.; BARREIROS, R. M.; ZACARIAS, I. M. Resistência mecânica de peças coladas de madeira de Persea Americana Mill. frente aos diferentes planos anatômicos. In: XXIX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UNESP, 2017, Itapeva, São Paulo. **Resumos...**, out., 2017.
19. STOECKEL, F.; KONNERTH, J.; GINDLALTMUTTER, W. Mechanical properties of adhesives for bonding wood - A review. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, v. 45, n. 1, p. 32-41, 2013.

“

Dureza Janka como estimador da densidade e das resistências à flexão e compressão em madeiras

▮ Takashi **Yojo**
IPT

▮ Cassiano Oliveira de **Souza**
IPT

▮ Maria José de Andrade Casimiro **Miranda**
IPT

▮ Sérgio **Brazolin**
IPT

RESUMO

Objetivo: Apresentar as relações entre o ensaio de Dureza Janka com densidade aparente e com resistências à flexão e à compressão das madeiras folhosas nativas brasileiras e coníferas, e evidenciar esta característica como critério de seleção de madeiras.

Métodos: A dureza Janka pode ser considerada um ensaio não destrutivo, pois a maioria das peças utilizadas não sofrem danos significativos. Neste trabalho foram analisados dados de 361 toras de espécies de folhosas nativas brasileiras e coníferas, utilizando-se uma função exponencial linearizada para a dureza Janka e as variáveis dependentes densidade aparente, resistências à flexão e à compressão. **Resultados:** Na análise de correlação e regressão, observou-se que as dispersões aumentam com a dureza Janka, porém na escala logarítmica se mantêm constantes. Os resultados das análises de regressão demonstraram que existe uma correlação das propriedades densidade aparente a 15% de teor de umidade, resistência à flexão e à compressão no estado verde com a variável dureza Janka da madeira verde. As curvas de regressão mostraram coeficientes de determinação entre 0,85 e 0,86, com dispersões entre 11% e 16%. **Conclusão:** Conclui-se que a dureza Janka pode ser utilizada como estimadora da densidade e resistências à flexão e à compressão.

Palavras-chave: Dureza Janka, Densidade, Compressão, Flexão, Madeira Nativa.

INTRODUÇÃO

A flora brasileira é composta por mais de 3.300 espécies de madeira. Destas, conhece-se as propriedades físico mecânicas de aproximadamente 10% apenas. A seleção da madeira em função da aplicação requerida é fundamental para o uso correto do material e a satisfação do usuário.

Em determinadas situações de trabalho em campo, os tempos associados à coleta de amostra, ao envio do material para um laboratório que realize a identificação botânica da madeira e o encaminhamento do resultado reduzem a eficiência do processo produtivo e dificultam a seleção da madeira. Observa-se a necessidade de um método que utilize um critério de seleção rápido, traçando um prognóstico claro do material analisado e permitindo a escolha adequada de grupos de espécies para uma dada aplicação.

Neste sentido, o ensaio de determinação de dureza Janka pode ser realizado de forma simples em campo. Este ensaio não destrutivo, utiliza uma esfera com dimensões reduzidas (1 cm² de área projetada) e o dano gerado nas peças de madeira pode ser considerado desprezível. Entretanto, há a necessidade de se demonstrar a sua relação com outras propriedades físicas e mecânicas, para validação como critério de seleção.

Deste modo, o presente trabalho apresenta as relações entre a densidade e a resistência à flexão e à compressão axial em função da dureza Janka, considerando a madeira no estado verde, com o objetivo de evidenciar esta característica como critério de seleção de madeiras nativas brasileiras.

OBJETIVO

Apresentar as relações entre a densidade aparente a 15% de teor de umidade, as resistências à flexão e à compressão axial em função da dureza Janka, considerando a madeira no estado verde, e evidenciar esta característica como critério de seleção de madeiras nativas brasileiras e de coníferas.

MÉTODOS

Com base nos resultados dos ensaios físicos e mecânicos de 361 toras de 220 espécies de folhosas nativas do Brasil e coníferas, que variavam de 260 a 1210 kg/m³ na densidade aparente a 15% de teor de umidade foram estabelecidas as relações entre a dureza Janka e a densidade, resistências à flexão e à compressão, no seu estado verde, ou seja, acima do Ponto de Saturação das Fibras (PSF). Estes resultados foram obtidos em ensaios laboratoriais, segundo a norma brasileira NBR 6230:1985 e compilados no Boletim N° 31 do IPT (edição de 1956) e analisados por meio de regressão, ao nível de significância de 5%

A equação de regressão adotada para relacionar a densidade e as resistências à flexão e à compressão com a dureza Janka foi:

$$y = a x^b \quad [1]$$

Linearizada com o seu logaritmo, resultando em:

$$y' = \ln(y) = \ln(a) + b \ln(x) = a' + b x' \quad [2]$$

onde: a e b são as constantes da curva; a' é o ln da constante a; x é a variável independente dureza Janka; x' é o ln da dureza Janka; y são as variáveis dependentes (densidade; resistências à flexão e à compressão); y' é o ln da variável dependente y.

Para a análise das equações e dos coeficientes a e b foram determinados:

R^2 – coeficiente de determinação;

S_R = desvio padrão residual em relação às variáveis linearizadas x' e y';

Limites superior e inferior da região de previsão da variável, com 95% de intervalo de confiança;

Intervalo de confiança de 95% para as constantes a e b.

RESULTADOS

Os Gráficos 1a e 1b mostram as relações entre a densidade aparente a 15% de teor de umidade e a dureza Janka no estado verde, respectivamente, para as variáveis em escala real e transformada (linearização).

Gráfico 1a. Relação entre densidade aparente a 15% de teor de umidade e a dureza Janka no estado verde.

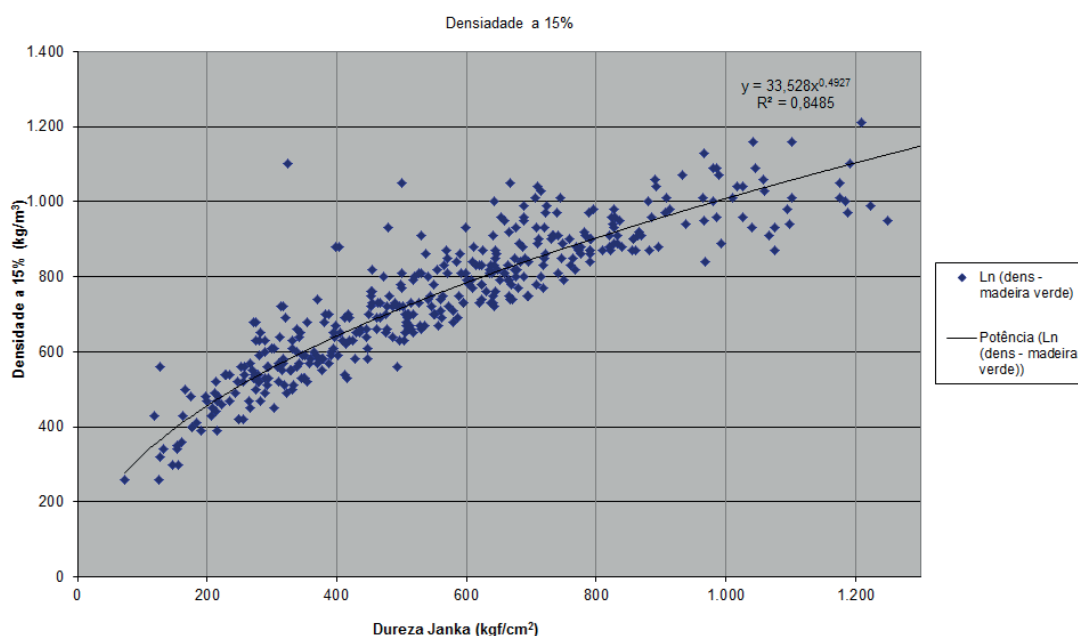
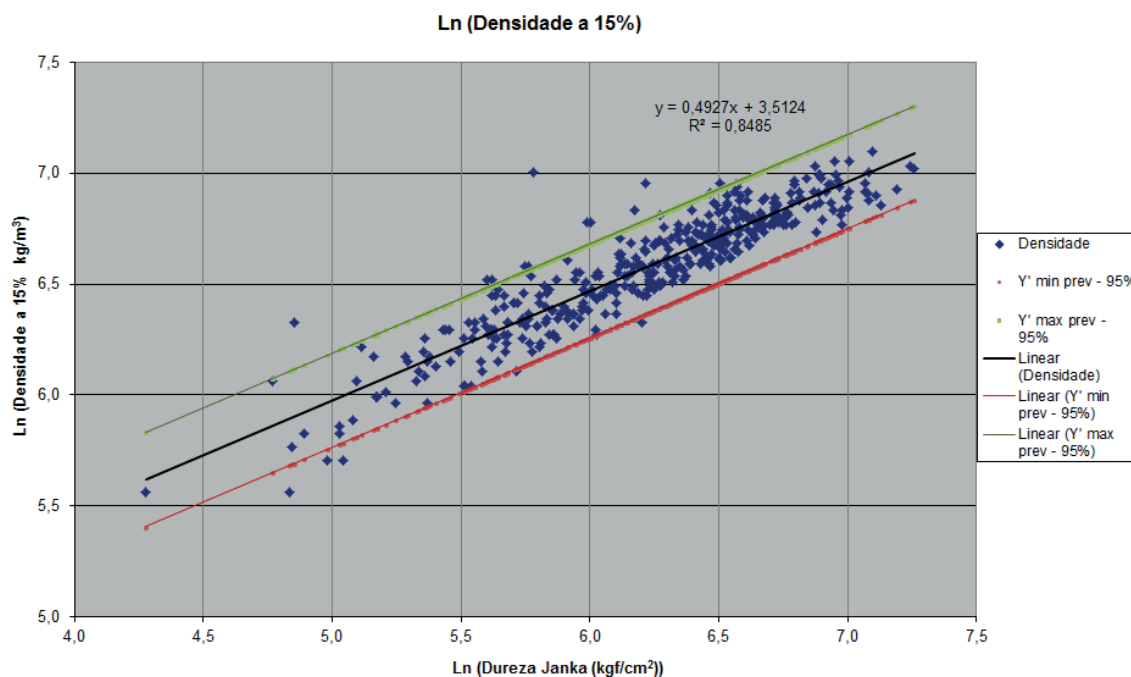


Gráfico 1b. Linearização da densidade aparente a 15% de teor de umidade em função da dureza Janka no estado verde e o limite superior (traço verde) e inferior (traço vermelho)



As equações de correlação, obtidas para densidade aparente, foram:

$$D_{\bar{s}} = 3,528 * f_D^{0,4927} \quad [3a]$$

$$h(D_{\bar{s}}) = 0,4927 * f_D + 3,5124 \quad [3b]$$

onde:

$D_{\bar{s}}$ = Densidade aparente a 15% de teor de umidade (kg/m^3).

f_D = Dureza Janka da madeira no estado verde (kgf/cm^2).

R^2 = Coeficiente de determinação (0,8485).

S_R = desvio padrão residual em relação à densidade (0,1064);

Constante a = 33,528, com intervalo de confiança de 29,4837 a 38,1273.

Constante b = 0,4927, com intervalo de confiança de 0,4722 a 0,5133.

As relações entre a resistência da madeira à flexão e a dureza Janka, ambas no estado verde, são apresentadas nos Gráficos 2a e 2b, respectivamente, para as variáveis em escala real e linearizada.

Gráfico 2a – Relação entre a resistência à flexão e a dureza Janka, ambas no estado verde.

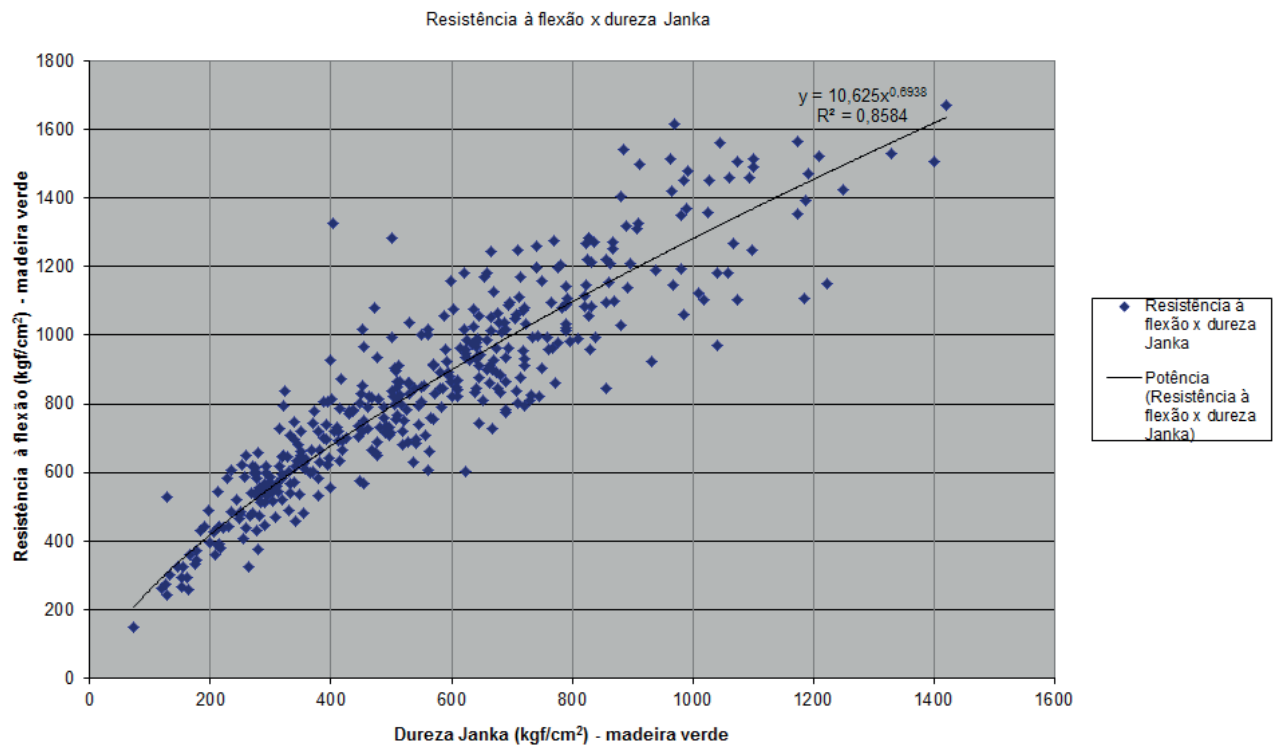
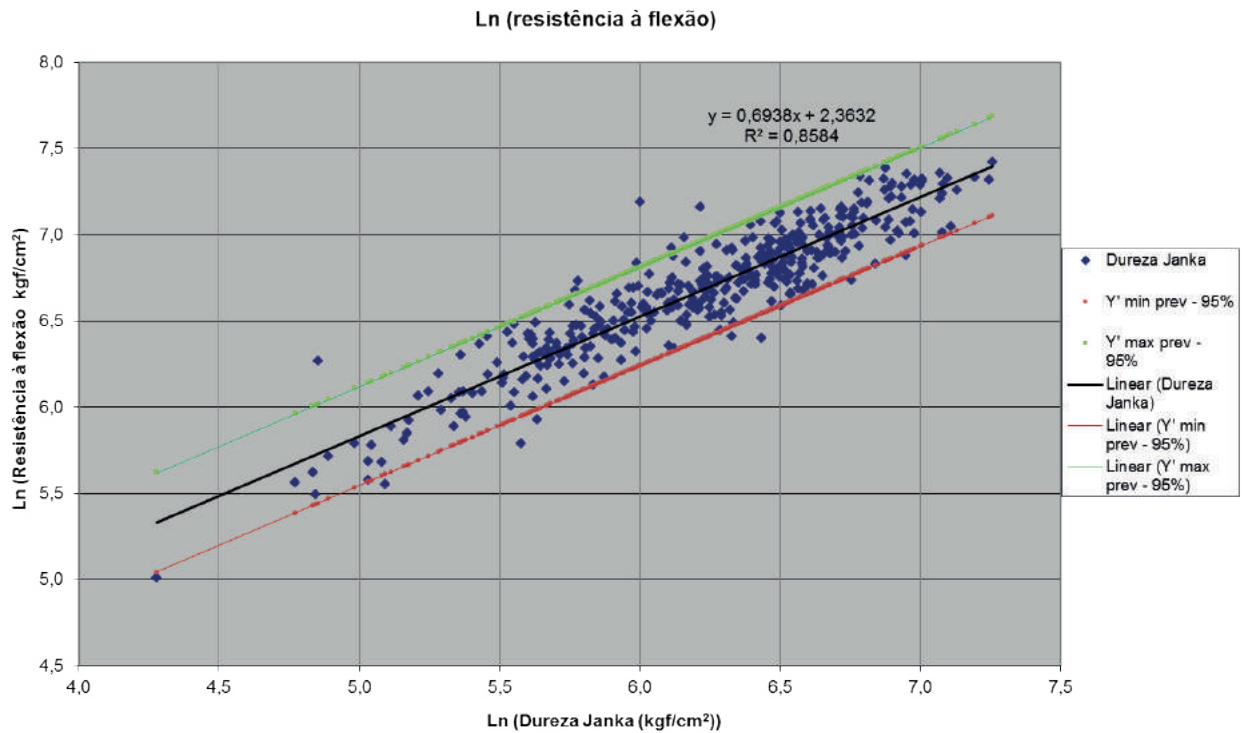


Gráfico 2b – Linearização da resistência à flexão em função da dureza Janka, ambas no estado verde e o limite superior (traço verde) e inferior (traço vermelho).



As equações de correlação obtidas para resistência à flexão foram:

$$f_M = 0,625 * f_D^{0,6938} \quad [4a]$$

$$h(f_M) = 0,6938 * f_D + 2,3632 \quad [4b]$$

onde:

f_M = Resistência à flexão (kgf/cm²) no estado verde;

R^2 = Coeficiente de determinação (0,8584).

S_R = desvio padrão residual em relação à resistência à flexão da curva (0,1441);

Constante a = 10,625, com intervalo de confiança de 8,9284 a 12,6439;

Constante b = 0,6938, com intervalo de confiança de 0,6659 a 0,7216.

As relações entre a resistência da madeira à compressão axial e a dureza Janka, ambas no estado verde, são apresentadas nos Gráficos 3a e 3b, respectivamente, para as variáveis em escala real e linearizada.

Gráfico 3a – Relação entre resistência à compressão axial em função da dureza Janka, ambas no estado verde.

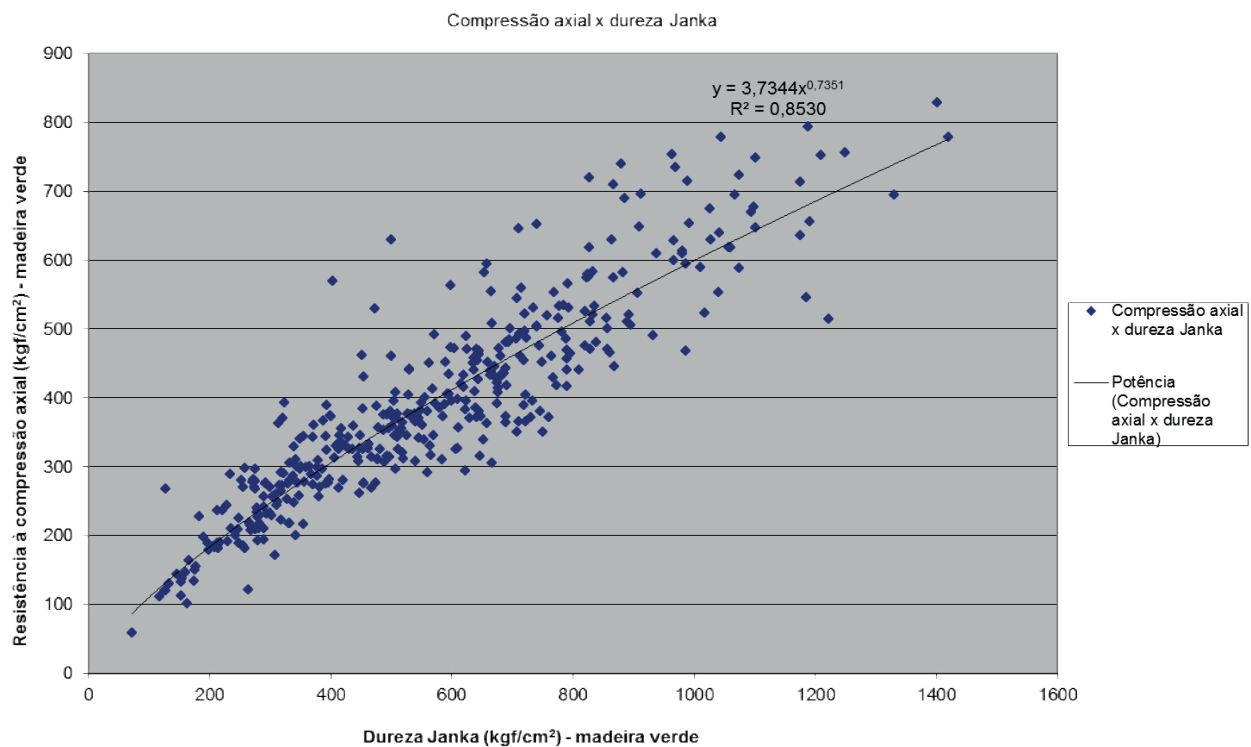
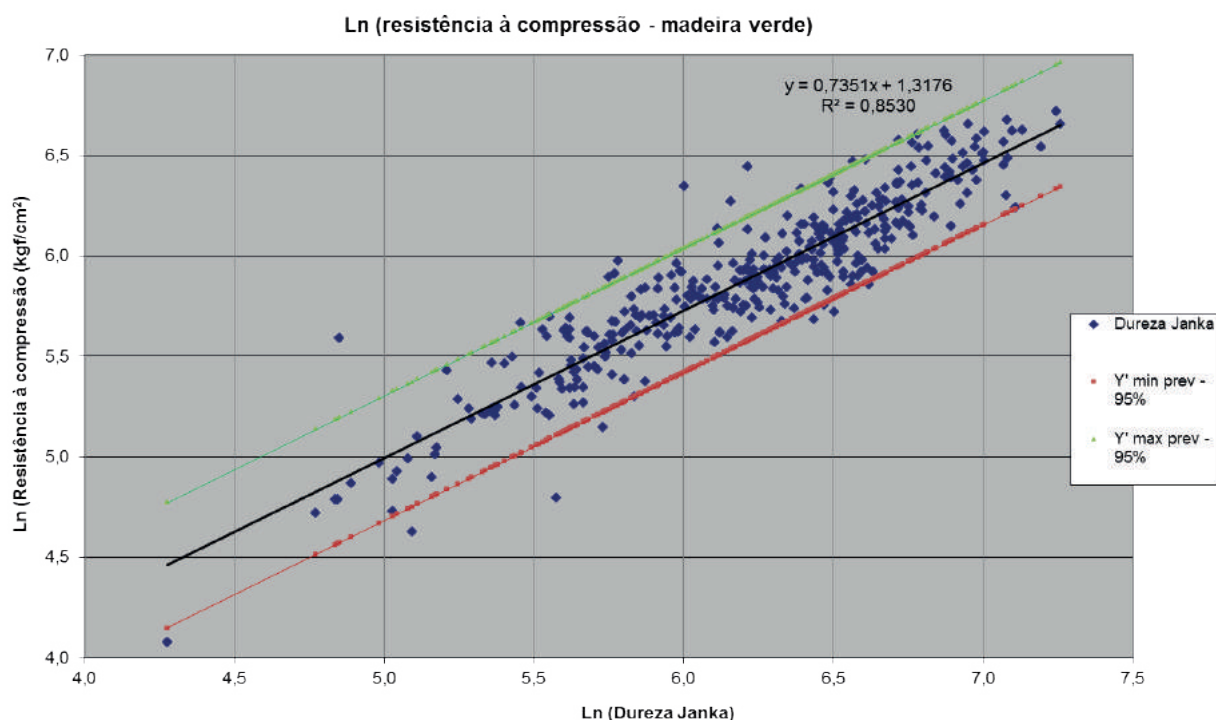


Gráfico 3b – Linearização da resistência à compressão axial em função da dureza Janka, ambas no estado verde e o limite superior (traço verde) inferior (traço vermelho).



As equações de correlação obtidas para compressão axial foram:

$$f_{c0} = 3,7344 * f_D^{0,7351} \quad [5a]$$

$$\ln(f_{c0}) = 0,7351 * \ln(f_D) + 1,3176 \quad [5b]$$

onde:

f_{c0} = Resistência à compressão axial (kgf/cm²) no estado verde.

R^2 = Coeficiente de determinação (0,8530).

S_R = desvio padrão residual em relação à resistência à compressão da curva (0,1559);

Constante $a = 3,7344$, com intervalo de confiança de 3,0938 a 4,5076;

Constante $b = 0,7351$, com intervalo de confiança de 0,7050 a 0,7652;

DISCUSSÃO

Na literatura encontram-se diversos trabalhos que relacionam as propriedades mecânicas como flexão e compressão com a densidade da madeira de folhosas e coníferas. No Handbook (2010) são apresentadas diversas relações, por exemplo, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade média com a densidade da madeira a 12% de teor de umidade ou na condição verde.

Ainda, segundo Handbook (2010), a densidade da substância que compõe a madeira é da ordem de 1,5 (1500 kg/m³) independente da espécie. O fato de madeira poder apresentar densidade inferior à água significa que apresenta espaços vazios, ou seja, nos lumens das

células. A variação no tamanho dos elementos anatômicos, lumen e espessura da parede das células da madeira tem relação com maior ou menor densidade. Por isso, essa variável é um excelente indicador das propriedades mecânicas, desde que a madeira possua proporção de parede celular equivalente e grã seja reta e livre de defeitos. Ressalta, no entanto, que a densidade sofre influência das gomas, resinas e extrativos que pouco afetam as propriedades mecânicas.

Com relação à dureza Janka, não foram encontrados estudos técnicos e científicos que a relacionam com as propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das espécies nativas brasileiras e coníferas.

Neste trabalho, as estimativas da densidade aparente a 15% de teor de umidade, resistência à flexão e à compressão da madeira no estado verde (maior que o PSF), a partir da dureza Janka, apresentaram respectivamente, coeficientes de determinação de 0,8485, 0,8584 e 0,8530, indicando uma forte correlação destas propriedades com a dureza Janka.

Os coeficientes a e b das equações de correlação para densidade aparente (Equações 3a e 3b), resistência à flexão (equações 4a e 4b) e compressão axial (Equações 5a e 5b) apresentaram valores positivos, mesmo dentro do intervalo de confiança de 95%. As dispersões em torno da curva de regressão apresentaram valores entre 11 e 16%. Estas dispersões correspondem ao coeficiente de variação relativo ao valor da curva da regressão.

CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises de regressão demonstraram uma forte correlação com a variável dureza Janka para a densidade aparente a 15% de teor de umidade, resistências à flexão e compressão axial, no estado verde. Portanto, pode ser utilizada como um critério de previsão destas propriedades.

■ REFERÊNCIAS

1. COSTA NETO P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
2. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. (IPT). **Métodos de Ensaio adotados no I.P.T. para o Estudo de Madeiras Nacionais**. Tabela de Resultados obtidos para Madeiras Nacionais. Nomenclatura das Madeiras Nacionais. Boletim nº 31, 2ª edição. São Paulo: IPT, 1956. (Inclui uma tabela adicional com 104 toras)
3. USDA. **Wood Handbook**. Wood as an Engineering Material, Madison: Forest Products Laboratory, 2010.

“

Estudo comparativo de maple (*Acer saccharum*) e Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*) para confecção de instrumentos musicais

- I Atny Miho **Saito**
CCTS – UFSCar
- I Gabriela Bertoni **Belini**
CCTS – UFSCar
- I Erick Phelipe **Amorim**
CCTS – UFSCar
- I Franciane Andrade de **Pádua**
CCTS – UFSCar

RESUMO

O objetivo do trabalho foi comparar as propriedades tecnológicas de duas espécies de madeira tradicionalmente utilizadas para instrumentos musicais: *Acer saccharum* (maple), exótica e *Balfuorodendron ridelianum* (pau-marfim) nativa. Foram utilizados 18 corpos de prova por espécie com dimensões descritas na NBR 7190 (1997). As espécies foram caracterizadas pela densidade aparente, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, velocidade do som paralela à grã, resistência à propagação sonora e resistência à irradiação sonora. Além disso, foram caracterizadas anatomicamente quanto as dimensões das fibras. Para a análise anatômica, foram confeccionadas lâminas histológicas temporárias de ambas espécies onde foram mensuradas 30 fibras por espécie. Foram determinados o comprimento da fibra, espessura e diâmetro do lume e calculou-se também o coeficiente de flexibilidade (CF), fração parede (FP), índice de enfiamento (IE) e índice de Runkel (IR). As espécies apresentaram comportamento semelhante quanto ao módulo de elasticidade e velocidade do som paralelo à grã. A madeira de maple obteve melhor desempenho em relação à resistência à propagação e irradiação sonora, apesar da maior densidade da madeira de Pau-marfim. Anatomicamente, foi observada diferença significativa apenas para comprimento das fibras. As demais características das fibras não apresentaram diferença entre espécies.

Palavras-chave: Propriedades Acústicas da Madeira, Instrumentos Musicais, Madeira Nativa.

INTRODUÇÃO

A lutheria é a arte responsável pela fabricação e manutenção de instrumentos musicais e encanta a humanidade pelo seu refinamento e busca pela perfeição. Pode-se denominá-la arte, pois na confecção de um instrumento musical são levados em consideração diversos fatores que irão afetar o resultado final, como o tipo (sopro, corda e percussão), a matéria-prima que será selecionada (por exemplo, o tipo de madeira), a quem se destina (criança ou adulto) e qual acabamento será dado à peça.

Em relação ao tipo de matéria-prima que será selecionada, no caso da madeira, por exemplo, deve-se levar em consideração a densidade, o teor de umidade, a contração linear, volumétrica, tangencial e radial (TELES, 2004). Esses fatores influenciam diretamente o desempenho do instrumento, seja causando um abafamento indesejado do som ou tornando o instrumento mais ressonante (TELES, 2004). Além disso, os diferentes padrões de cores e desenhos da madeira podem tornar o instrumento musical mais atrativo visualmente. Assim, o conhecimento das propriedades anatômicas e físico-mecânicas é necessário para que se possa realizar uma boa escolha de matéria-prima para confecção de instrumentos musicais.

Tradicionalmente a madeira mais utilizada para a produção de instrumentos musicais é proveniente das árvores do gênero *Acer*, popularmente conhecidas como Maple ou Bordo no Brasil (SOUZA, 2009). Esse gênero é originário do leste dos Estados Unidos, também sendo encontrado em outras regiões do Hemisfério (AHEC, 2019). O gênero possui uma grande variedade de podendo ser dividida em dois grupos: as madeiras soft maple (que incluem as espécies *Acer saccharinum* e *Acer rubrum*) e as hard maple (que incluem a *Acer nigrum* e a *Acer saccharum*) (SOUZA, 2009). Por ser uma das madeiras mais utilizadas para esse fim, os *luthiers* precisam importar esse material o que implica em um aumento do custo do produto final.

No Brasil, um dos pioneiros no estudo de espécies nativas para o uso em instrumentos musicais foi o físico pesquisador da Universidade de Brasília Mário Rabelo de Souza com o desenvolvimento do Projeto “Avaliação de madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais” cujo objetivo foi ampliar e difundir os tipos de madeira presentes na Amazônia e, assim, agregar valor ao material. No entanto, apesar de algumas madeiras brasileiras serem consideradas de excelente qualidade para a produção de instrumentos musicais, a maioria delas corre risco de extinção e sua exploração é proibida por lei, como o mogno (*Swietenia macrophylla*), o pau brasil (*Paubrasilia echinata*), a araucária (*Araucaria angustifolia*), jacarandá da Bahia (*Dalbergia nigra*), entre outras (SOUZA, 2014). Outras madeiras brasileiras menos conhecidas também são utilizadas em partes de instrumentos musicais, como o amburana-de-espinho (*Commiphora leptophloeos*), árvore-da-chuva

(*Samanea saman*), pau-de-ferro (*Caesalpinia ferrea* var. *leiostachya* Martius), pau-marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) e muitas outras (SOUZA, 2009).

A madeira de pau-marfim destaca-se por ser muito semelhante com a madeira de maple (GOMES, 2014). Sua madeira é utilizada na construção de móveis, construção civil, portas, caibros, produtos ornamentais etc. (CARVALHO, 2003). A semelhança com a maple torna o pau-marfim uma espécie potencial para estudos que busquem a substituição da madeira exótica pela nacional. Estudos que busquem compreender a razão dessa semelhança podem dar embasamento científico para uma destinação mais nobre e com maior valor agregado desta espécie nativa e, até mesmo, abrir portas para outras espécies brasileiras pouco estudadas para instrumentos musicais.

OBJETIVO

Avaliar comparativamente as madeiras de duas espécies tradicionalmente utilizadas para instrumentos musicais: *Acer saccharum* (maple) exótica e *Balfuorodendron riedelianum* (pau-marfim) nativa, quanto às propriedades tecnológicas de interesse para a confecção de instrumentos musicais.

MÉTODOS

MATERIAL E AMOSTRAGEM

Foram utilizadas amostras de madeira de *Acer* sp e *Balfuorodendron riedelianum* obtidas de fornecedor especializado em madeiras para instrumentos musicais no município de Jandira, São Paulo. De cada peça foram confeccionados corpos de prova nas dimensões de 6 cm de comprimento, 2 cm de largura e 2 cm de altura em conformidade com a norma da ABNT NBR 7190. No total foram obtidos 18 corpos de prova de cada espécie.

CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

Teor de umidade

Para cada uma das espécies foi determinado o teor de umidade inicial a partir da Equação 1.

$$U\% = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

P_u : (Peso úmido) é a massa da madeira nas condições do ambiente;

P_s : (Peso seco) corresponde a massa da madeira seca até massa constante (estufa de 103 ± 2 °C);

$U\%$: porcentagem de umidade contida na madeira.

Após a determinação do teor de umidade inicial, apenas as amostras de *B. riedelianum* acondicionadas em câmara climática para ajuste a 20°C e 65%.

Densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente, utilizaram-se as mesmas amostras que dos ensaios mecânicos (totalizando 20 repetições). As amostras foram pesadas em balança analítica e, utilizando um paquímetro digital, foram registradas dimensões das amostras para o cálculo do volume a 12% de umidade. A densidade aparente foi calculada por meio da Equação 2.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Em que:

ρ : densidade aparente (kg/m³),

m : massa (kg)

v : volume (m³).

Módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras

Os ensaios mecânicos de compressão paralela às fibras foram realizados em máquina Universal de Ensaios EMIC DL30000N.

Foram determinadas a força máxima (N), resistência máxima (MPa) e módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras (MPa). Durante os ensaios, alguns corpos de prova apresentaram problemas ao serem submetidos à compressão na máquina, fazendo com que os valores encontrados fossem muito discrepantes entre si. Dessa forma, optou-se por desprezar tais valores. No total foram utilizados 18 corpos de prova para o ensaio mecânico.

Velocidade do som paralelo à grã

Para o cálculo da velocidade do som paralelo à grã, utilizou-se a Equação 3.

$$V_s = \sqrt{980665 \times E / \rho} \quad (3)$$

Em que:

V_s : velocidade do som;

E: módulo de elasticidade (kgf/m³); ρ : densidade aparente (g/cm³)

Resistência a propagação sonora (W)

A resistência à propagação sonora foi obtida através da Equação 4.

$$W = \rho \times v = \rho \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\rho \times E} \quad (4)$$

Em que:

W = resistência a propagação sonora ρ = densidade (g/cm³) v = velocidade da propagação sonora

E = módulo de elasticidade (KgF/cm²)

Resistência a irradiação sonora (R)

A Resistência a irradiação sonora (R) foi determinada de acordo com a equação 5.

$$R = \frac{v}{\rho} = \frac{1}{\rho} \sqrt{E / \rho} \quad (5)$$

Em que:

R: resistência à irradiação sonora

v = velocidade do som

ρ = densidade aparente a 12% de umidade

E = módulo de elasticidade

DIMENSÕES DAS FIBRAS

Para a análise anatômica, os corpos de provas foram reduzidos a dimensões de 2 cm x 2cm x 2cm. Em seguida foram obtidos palitos da face longitudinal das amostras de cada espécie estudada. Uma solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético (1:1v) foi preparada para dissociação dos elementos anatômicos, que em seguida foram levados a estufa a 60°C e retirados quando observado total branqueamento, fragmentação e o amolecimento total das amostras. Foi utilizada a metodologia descrita por Franklin (1945). A mensuração dos elementos foi realizada de acordo com International Association of Wood Anatomist – IAWA (1989). As imagens foram obtidas com auxílio do microscópio de luz polarizada modelo Leica DM2700 P com câmera e monitor de vídeo), utilizando o software de análise de imagem Leica Application Suite (LAS V4.5) O software utilizado para as medições foi Image-Pro plus 6.

No processo de maceração foram obtidos os seguintes parâmetros anatômicos: comprimento de fibra (mm); e espessura da parede da fibra, sendo este último obtido pela Equação 6.

$$EP = (L-DL)/2 \quad (6)$$

Onde:

EP = Espessura da parede (μm);

L = Largura (μm);

DL = Diâmetro do lume (μm).

Adicionalmente avaliou-se as razões das características das fibras: Coeficiente de flexibilidade (CF), fração parede (FP), índice de enfeitramento (IE) e índice de Runkel (IR), de acordo com as seguintes equações:

$$CF = (d / D) \times 100 \quad (7)$$

$$FP = (2 e / D) \times 100 \quad (8)$$

$$IE = C / D \quad (9)$$

$$IR = 2 e / d \quad (10)$$

Em que:

(d) = diâmetro do lume;

(D) = largura da fibra;

(C) = comprimento da fibra;

(e) = espessura

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Na avaliação do experimento foi considerado o delineamento inteiramente casualizado, de modo que as amostras são consideradas como repetições. Para a análise estatística dos resultados foi utilizado o programa estatístico Past (versão 3.0). Os resultados foram comparados estatisticamente para as duas espécies avaliadas, realizou-se o teste t para comparação das médias (nível de significância de 5%).

RESULTADOS

Densidade aparente

A Tabela 1 apresenta os resultados relativos à média dos dados da densidade.

Tabela 1. Densidade aparente das espécies de pau – marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) e maple (*Acer saccharum*).

	Média(kg/m³)	Desvio Padrão (kg/m³)
Maple	679,230	28,70
Pau – marfim	760,280	32,74

Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras

Os valores obtidos para a média e o desvio padrão para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Módulo de elasticidade paralelo à grã das espécies de pau – marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) e maple (*Acer saccharum*)

	Média (KgF/cm ²)	Desvio Padrão (KgF/cm ²)
Maple	11799	254,538
Pau – marfim	12521	301,122

Resistência a propagação sonora (W)

O teste t para verificação de igualdade de médias demonstrou que há diferença significativa entre as médias de resistência a propagação sonora das duas espécies (Tabela 3).

Tabela 3. Resistência a propagação sonora das espécies de pau – marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) e maple (*Acer saccharum*).

	Média [(m/s)/(g/cm ³)]	Desvio Padrão [(m/s)/(g/cm ³)]
Maple	282,41	129,92
Pau – marfim	307,61	156,24

Resistência à irradiação sonora (R)

O teste t para igualdade de médias mostrou que há diferença significativa para a resistência à irradiação sonora entre as espécies (Tabela 4).

Tabela 4. Resistência a irradiação sonora das espécies de Pau – Marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) e Maple (*Acer saccharum*).

	Média [(m/s)/(cm ³ /g)]	Desvio Padrão [(m/s)/(cm ³ /g)]
Maple	612,33	133,08
Pau – marfim	531,9	138,28

Velocidade de propagação do som

Os valores de velocidade média de propagação do som paralelo a grã podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5. Velocidade da propagação do som (m/s) das espécies de pau – marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) e maple (*Acer saccharum*).

	Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Maple	4117,62	126
Pau – marfim	4005,13	144

Análises anatômicas

Na Tabela 6 podem ser observados os valores médios da medição de 30 fibras da madeira da espécie *Acer saccharum* e *Balfuorodendron riedelianum*.

Tabela 6. Valores de comprimento de fibra e espessura da parede da fibra e diâmetro do lume de *Acer saccharum* e *Balfuorodendron riedelianum*

	Comprimento (mm)		Espessura μm		Diâmetro do lume μm	
	<i>Acer saccharum</i>	<i>Balfuorodendron riedelianum</i>	<i>Acer saccharum</i>	<i>Balfuorodendron riedelianum</i>	<i>Acer saccharum</i>	<i>Balfuorodendron riedelianum</i>
Média	1,24	2,23	5,88	5,79	3,92	3,95
Desvio Padrão	15,03%	59,06%	1,093	1,328	1,066	0,963

Utilizando-se um nível de significância de 5%, o teste t apontou que não houve diferença significativa entre os valores de diâmetro do lume e espessura da fibra entre as duas espécies e que há diferença significativa entre o comprimento da fibra de das espécies.

Os valores médios obtidos para estas características podem ser observados na Tabela 7. É possível observar que os valores obtidos entre as espécies são próximos, demonstrando semelhança entre as características das fibras.

Tabela 7. Coeficiente de flexibilidade, Fração parede, índice de enfiamento e índice de Runkel.

Coeficiente de flexibilidade (CF) (%)	Fração parede (FP) (%)	Índice de enfiamento (IE)	Índice de Runkel (IR)
Maple (<i>Acer saccharum</i>)			
66,76	33,24	211,35	0,4979
Pau Marfim (<i>Balfuorodendron riedelianum</i>)			
68,32	31,68	386,93	0,46380

DISCUSSÃO

Densidade aparente

Observou-se que a densidade da madeira de pau-marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) é superior à da madeira de maple (*Acer saccharum*). Houve diferença significativa entre as médias da densidade aparente das duas espécies. O valor médio de densidade aparente do Pau Marfim foi de 760,280 kg/m³, inferior ao valor de 840 kg/m³ apresentado para a espécie na Ficha de Características das Madeiras Brasileiras publicado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1978) e aos 850 kg/m³ verificados por Del Menezzi et al. (2001). O valor médio de densidade aparente verificado para a Maple foi de 679,230 kg/m³, valor inferior ao de 630 kg/m³ a 12% de umidade, disponibilizado pelo USDA Forest (2010). Houve diferença significativa entre as médias da densidade aparente das duas espécies

sendo a madeira de pau-marfim aproximadamente 10% superior à madeira de maple para esta característica.

Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras

Não houve diferença significativa entre as médias dos módulos de elasticidade das duas espécies. Brémaud et al. (2011), consideram o módulo de elasticidade como importante componente para a classificação de uma madeira para instrumentos musicais, assim como a densidade. Como não foi constatada diferença significativa entre o módulo de elasticidade das duas espécies, pode-se dizer que a madeira de pau-marfim possui uma característica considerada importante para a produção de instrumentos musicais, semelhante a maple, mundialmente reconhecida para a confecção de instrumentos musicais. Os valores obtidos para o Módulo de Elasticidade são próximos aos relatados por Souza (1983) de 129000 Kgf/cm² para a madeira de maple e 117000 Kgf/cm² para a madeira de pau-marfim.

Os valores obtidos para o Módulo de Elasticidade são próximos aos relatados por DICAF (2010), sendo o módulo de elasticidade dado em MPa. O valor relatado foi de 12618 MPa, o qual é próximo à média obtida neste experimento (11448 MPa).

Resistência à propagação sonora (W)

A madeira de maple apresentou resistência à propagação sonora média menor que a madeira de pau-marfim, indicando que a primeira teria melhor desempenho acústico. A resistência à propagação sonora (W) é um parâmetro proposto por Kollman em 1968 (SOUZA, 1983) para instrumentos de corda. O parâmetro surgiu a partir da observação por Kollman de que a madeira possui velocidade de propagação sonora semelhante aos metais apesar de possuir 1/10 a 1/20 da densidade dos mesmos (SOUZA, 1983). Segunda Souza (1983), quanto menor a resistência a propagação sonora (W), melhor será a qualidade acústica do material.

Resistência à irradiação sonora (R)

A madeira de pau-marfim possui menor R que a madeira de maple, indicando que a madeira de maple pode ser considerada superior para a utilização em instrumentos musicais.

Kollman notou que a vibração em uma placa era amortecida pela fricção interna (calor) e pela irradiação sonora. E, para um determinado material, esse amortecimento devido a irradiação sonora é função da velocidade de propagação e densidade (SOUZA, 1983). Ainda de acordo com Souza (1983), o valor de R deve ser o maior possível para o material ser considerado bom para utilização em instrumentos musicais.

Velocidade de propagação do som

O teste t para médias indicou que não há diferença significativa entre a média dos dados de velocidade de propagação do som entre as duas espécies demonstrando uma possível similaridade entre elas.

Dimensões das fibras

Observou-se que o valor médio de espessura da parede da fibra e diâmetro do lume da madeira de Maple são bem semelhantes aos valores encontrados para as fibras de Pau marfim. No entanto, os valores de comprimento das fibras da madeira de Pau marfim foram 52% superiores aos da madeira de Maple. Tal comportamento se reflete na densidade destas madeiras. A madeira de pau-marfim possui densidade aparente a 15% de umidade entre 0,80 e 0,90 g.cm⁻³ considerada como uma madeira densa (JANKOWSKY et al., 1990). Já a madeira de Maple possui densidade de 0,62 g.cm aos 12% de umidade (USDA, 2010). A maior densidade da madeira para confecção de instrumentos musicais reflete em uma maior vibração das moléculas e, conseqüentemente maior emissão de som.

Na análise microscópica, pode-se perceber estes fatos visualmente: as fibras de Pau marfim são mais alongadas e ligeiramente mais finas que as fibras de Maple.

Os valores obtidos para as medições das fibras para a espécie Pau marfim são semelhantes aos encontrados por Lobão et al. (2011), no qual os autores buscavam agrupar diferentes espécies florestais através da análise univariada e multivariada das suas características físicas, químicas e anatômicas. A densidade, a composição química e a anatomia são as características mais importantes na madeira (OLIVEIRA, 1988; RICHTER; BURGER, 1991 apud LOBÃO et al., 2011), sendo a densidade uma das características mais usadas para definir seu uso e esta sendo afetada pela sua estrutura anatômica (PANSIN; De ZEEUW, 1980 apud LOBÃO et al., 2011).

Segundo Trugilho et al. (1996), as variações nos componentes anatômicos, composição química e propriedades físicas e mecânicas dentro de uma mesma espécie ocorrem principalmente em função da idade, fatores genéticos e ambientais. A partir dos resultados obtidos nas análises anatômicas, nota-se que há uma semelhança anatômica entre as espécies, havendo apenas diferença significativa entre o comprimento de fibra das mesmas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As espécies pau-marfim (*Balfuorodendron riedelianum*) e maple (*Acer saccharum*) apresentam características das fibras semelhantes, com diferença significativa apenas para o comprimento de fibra.

Apesar da madeira de pau-marfim possuir densidade mais elevada que a madeira de maple e módulo de elasticidade estatisticamente igual, houve diferença significativa entre a resistência à irradiação sonora (W) e resistência a propagação sonora (R) entre as espécies, sendo a madeira de maple superior em ambas características, considerando as propriedades acústicas avaliadas neste trabalho para a confecção de instrumentos musicais.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR – 11941: Densidade Básica da Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR** – 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
3. AHEC, The American Hardwood Export Council. Disponível em <www.porthuseventos.com.br/ahec/especies.php>. Acesso em: 19 de mar. 2016
4. ALVES, E. S.; LONGUI, E. L.; AMANO, E. Pernambuco wood (*Caesalpinia echinata*) used in the manufacture of bows for string instruments. *IAWA Journal*, Leiden, v. 29, n. 3, p. 323–335, 2008.
5. BRANCHERIAU, L.; KOUCHADE, C.; BRÉMAUD, I. Internal friction measurement of tropical species by various acoustic methods. **Journal of wood science**, Tokyo, v. 56, p. 371–379, 2010.
6. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Biodiversidade Brasileira**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidadebrasileira>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2017.
7. BRÉMAUD, I. Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones: Biological and cultural diversity. **Journal Acoustical Society of America**, Melville, n. 1, v. 131, p. 807–818, 2012.
8. BRÉMAUD, I.; GRIL, J.; THIBAUT, B. Anisotropy of wood vibrational properties: dependence on grain angle and review of literature data. **Wood science and technology**, Heidelberg, v. 45, p. 735–754, 24 dez. 2010
9. BRÉMAUD, I.; KAÏM, Y. E.; GUIBAL, D.; MINATO, K.; THIBAUT, B.; GRIL, J. Characterisation and categorisation of the diversity in viscoelastic vibrational properties between 98 wood types. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 69, p. 373–386, 9 dez. 2011.
10. BRÉMAUD, I.; MINATO, K.; LANGBOUR, P.; THIBAUT, B. Physico-chemical indicators of inter-specific variability in vibration damping of wood. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 67, p. 707–715, 2010.
11. CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 21. ed. Brasília: Embrapa, 2003. p. 765–773.

12. CARVALHO, P. E. R. Pau-Marfim: *Balfourodendron riedelianum*. **Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2004. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/313254/1/circotec_93.pdf. Acesso em: 28 de Agosto de 2017.
13. COMISIÓN Panamericana de Normas Técnicas. Madeiras: Método de determinación de La contracción. Buenos Aires: COPANT, 1972. 462. 5p.
14. FAGUNDES, P.V. **Utilização de espécies madeireiras amazônicas para fabricação do corpo da gaita diatônica**. 2003. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília, 2003. [Orientador: Prof. Dr. Mário Rabelo de Souza]. GOMES, A. Madeiras utilizadas em instrumentos, 2014. Disponível em: <http://afonso.mus.br/madeiras-utilizadas-em-instrumentos/>. Acesso em: 19 de mar. 2016.
15. FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood: resin composites and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n.3924, p.51, 1945.
16. GODMAN, R. M., YAWNEY, H. W., TUBBS, C. H. *Acer saccharum* Marsh. **Silvics of North America**, v. 2, n. 654, p. 78, 1990.
17. HOLZ, D. Tropical Hardwoods Used in Musical Instruments - Can We Substitute them by Temperate Zone Species? **Holzforschung**, Berlim, v.50, n. 2, p. 121-129, 1996.
18. IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Normas de apresentação tabular. Rio de Janeiro, 1993. 60 p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS-RJ/normastabular.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2015.
19. INTERNACIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMIST. IAWA list of Microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n.3, p.221-332, 1989.
20. LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. N.; RANGEL, A.; SARTO, C.; FILHO, M. T.; JÚNIOR, F. G. S.; NETO, L. G.; BERMUDEZ, M. A. R. C. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **ScientiaForestalis**, v. 39, n. 92, p. 469-477, 2011.
21. PORTELA, M. S. **Estudo das propriedades acústicas da madeira amazônica marupá para tampo de violão**. 2014. 154f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.
22. SOUZA, M. R. IBICTI, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **Madeiras da floresta amazônica utilizadas na fabricação de instrumentos musicais, 2014**. Disponível em: <http://www.canalciencia.ibict.br/pesquisa/0270-Madeiras-floresta-Amazonica-utilizadas-na-fabricacao-instrumentos-musicais.html>. Acesso em: 19 de mar. 2016.
23. SOUZA, M. R. **Classificação de madeiras para instrumentos musicais**. Brasília: IBDF/DE/LPF, 21p., 1983. (DE. Série Técnica,6) Disponível em: http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/DE-Serie_Tecnica06.pdf. Acesso em: 19 de mar. 2016.
24. SOUZA, M. H. de. **Madeiras utilizadas para a fabricação de instrumentos musicais**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro - MMA, 158p., 2009. Disponível em: <http://mundoflorestal.com.br/arquivos/madeira-instrumentos-musicais111-%20segurar.pdf>. Acesso em: 19 de mar. 2016.

25. TELES, R.F. **Avaliação de Madeiras amazônicas para utilização em instrumentos musicais: madeiras para violões.** 2004. 28f. Relatório Final de Projeto PIBIC (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais – IBAMA/ Laboratório de Produtos Florestais – LPF, Universidade de Brasília. Brasília, 2003-2004. [Orientador: Prof. Dr. Mário Rabelo de Souza].
26. TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.2, n. 1, p. 94-111, 1996.
27. ROSS, R. J. “Wood handbook: wood as an engineering material.” USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v. 190, 2010.

“

Evaluación de la eficiencia de conectores metálicos en vigas mixtas de madera y concreto

▮ Pedro Gutemberg de Alcântara **Segundinho**
UFES

▮ Adair José **Regazzi**
UFV

▮ Marcos Oliveira de **Paula**
UFV

▮ José Antonio **Matthiesen**
UNESP

▮ Fabricio Gomes **Gonçalves**
UFES

▮ Maximiliano Arredondo **Ramirez**
UNC

RESUMEN

Este artículo se basa en la evaluación de la eficiencia de diferentes tipos de conectores metálicos utilizados para la conexión de vigas mixtas de madera y concreto. En esta investigación fueron producidas y ensayadas doce vigas mixtas cuya sección transversal fue en forma de T. Los conectores utilizados en las vigas, fueron tornillos autoajustables colocados en forma de X, clavijas metálicas confeccionadas a partir de barras de acero de construcción civil y colocada con una inclinación de 50° y perpendicularmente a las fibras de madera. El procedimiento experimental consiste básicamente en el ensaño de flexión a cuatro puntos de las vigas de sección T. De los resultados obtenidos, se concluye que las vigas con tornillos autoajustables colocados en forma de X, espaciados cada 10 cm, presentaron las mayores eficiencias en la conexión de las vigas y se diferenciaron estadísticamente de los demás tipos de conectores.

Palabras-Claves: Conexiones en Vigas Mixtas T, Tornillos Autoajustables, Clavijas Metálicas, Eficiencia de Conexión.

INTRODUCCIÓN

Brasil, un país de dimensiones continentales, posibilita la oportunidad para el uso de nuevos arreglos de materiales en la construcción civil. Para atender la demanda de nuevas construcciones, se sugiere como alternativa, estructuras mixtas construidas a partir de la combinación de la madera y el concreto (Miotto et al., 2009). Las soluciones estructurales mixtas de la asociación de la madera y el concreto se remontan a los años 30 y, desde entonces, son conocidas diversas alternativas para las conexiones entre estos materiales, con gran número de aplicaciones prácticas.

El potencial de aplicación de las estructuras mixtas de madera y concreto son amplias en la construcción civil, tanto en obras de restauración como en la construcción de nuevos edificios. Otras aplicaciones, como construcciones prefabricadas, elementos de fachada, paredes y cubiertas de puentes, son también frecuentes. Sin embargo, referentes a la restauración y refuerzo de pisos antiguos de madera merecen ser enfatizadas (Jorge, 2005).

La transformación de los pisos solamente de madera, en pisos mixtos de madera y concreto permite la utilización de este sistema en edificios antiguos, respetando los niveles de exigencia actuales. Para estos casos, los pisos pueden ser utilizados como formaleta de la nueva placa de concreto (Turrini y Piazza, 1983) y (Bathon y Graf, 2002). Por lo tanto, hay ventajas relativas a la durabilidad de las construcciones que usan solo madera, en lo que se refiere al desgaste de los pisos, cuando se cambia el piso por una losa de concreto sobre las vigas de madera ya existentes puede ser una alternativa económica. En las secciones compuestas de concreto y madera, el concreto ofrece excelente resistencia a la compresión, aumenta rigidez de la estructura y protección a la madera contra la acción del medio ambiente (Yttrup, 2005).

La resistencia al fuego de un piso de madera es mejorada con la introducción de una capa de concreto, dado que estudios realizados con este propósito comprueban que los pisos mixtos de madera y concreto brindan una resistencia al fuego de 90 min (Fontana y Frangi, 1998) y (Frangi, 2001). Este hecho altera significativamente la viabilidad de implementación de pisos de madera en edificios, dado que los pisos de madera (sin capa de concreto) solo consiguen resistir alrededor de 30 minutos al fuego, lo que es insuficiente según las normas reglamentarias (Jorge y Silva, 2002).

El confort acústico, en relación a un piso simple de madera, es igualmente mejorado por la resistencia de una capa de concreto, debido al aumento de la masa de la estructura. Estudios realizados en Finlandia, en el laboratorio de VTT Building and Transport, revelaron valores de aislamiento acústico para los sonidos aéreos de 60 dB y 51 dB para sonidos de impacto. Este trabajo concluyó que este tipo de solución tiene un desempeño superior

en términos de confort relativo a las vibraciones inducidas por el caminar de las personas, comparado a los pisos tradicionales de madera (Toratti, 2002).

El desarrollo e investigación de esta técnica está aumentando de una forma significativa en las estructuras pioneras, donde aún se generan desplazamientos entre los dos materiales. En el sentido de disminuir esos desplazamientos, se buscan nuevas formas de conexión entre la madera y el concreto (Carvalho y Carrasco, 2010) y (Miotto y Dias, 2002). Naturalmente, las primeras tentativas recurrieron al uso de las tradicionales conexiones mecánicas de la madera, por ejemplo, clavos, tornillos, clavijas y placas dentadas. Para mejorar el desempeño estructural de esta técnica constructiva, surgieron más tarde nuevas formas de conexión, las cuales constituyen hoy las soluciones más recomendadas. Los desarrollos más recientes en términos de conexión entre la madera y el concreto, buscan aliar la eficiencia estructural y los aspectos económicos. Los costos de las conexiones deben ser evaluados teniendo en cuenta la facilidad de aplicación en serie y también el precio de los conectores propiamente (Jorge, 2005).

Por lo tanto, la viabilidad de uso de ese material solo ocurrirá cuando sea posible cuantificar la eficiencia de la conexión entre la madera y el concreto, pues el tipo de conexión entre los dos materiales afecta directamente la distribución de los esfuerzos internos, llevando a deformaciones de la estructura. La conexión entre los materiales, en este caso, puede ser hecha utilizando varios tipos de conectores metálicos que, en su esencia, son responsables por la cuantificación de la rigidez efectiva a la flexión de la estructura. La inclusión de estas estructuras en los documentos normativos implica la caracterización de diversos aspectos que tienen que ver con un comportamiento a corto y largo plazo, con efecto de condiciones ambientales adversas, con efectos dinámicos y con comportamiento al fuego.

El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño de las vigas mixtas de madera y concreto teniendo en cuenta el tipo de conector y la forma de fijación. La evaluación será realizada a partir de la comparación de las eficiencias de las conexiones obtenidas a partir de los datos experimentales de rigidez en relación a la rigidez obtenida de forma teórica por el método de la sección transformada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Madera

Las especies de maderas utilizadas para la construcción de las vigas mixtas fueron Oocarpa, Eucaliptus grandis y Cupiúba. En total, fueron utilizadas 12 vigas de madera, donde las vigas de 1 a 4 tenían 210 cm de largo y las otras vigas (5 a 12), 220 cm de largo.

Conectores

Los conectores utilizados en las vigas de 1 a 4 fueron tornillos autoajustables, los cuales son comerciales con un diámetro de 12.7 mm, un largo de 12.5 cm y un diámetro interno de la rosca de 9.2 mm. Para la pre-perforación fue realizado un diámetro de 9.5 mm. Estos conectores fueron fijados en las vigas de madera en forma de X, espaciados cada 10 cm, formando un ángulo de 50° en relación a la las fibras de la madera y atornillados 6.5 cm, largo de la rosca en el tornillo.

Los conectores utilizados en las vigas de la 5 a la 12, fueron retirados de barras de acero de construcción civil, de tipo CA50, con diámetro de 12.5 mm, largo medio de 150 mm. En las vigas de 5 a 8, las clavijas fueron colocadas con una inclinación de 50° en relación a las vigas de madera, profundizando 64 mm y pre-perforando 12 mm. En las vigas de la 9 a la 12, las clavijas fueron colocados en posición perpendicular en relación a las vigas de madera, con profundizando 100 mm y pre-perforando 14 mm. En estas últimas vigas, las clavijas fueron colocadas, por eso tienen un diámetro de pre-perforación mayor que el conector. En la Figura 1, se tienen los conectores utilizados en las 12 vigas mixtas de madera y concreto. En la Tabla 1, se especifica espaciamiento, posicionamiento y cantidad de conectores.

Figura 1. Tipos de conectores: a - tornillos autoajustables colocados en forma de X; b - clavijas metálicas inclinadas; c - clavijas metálicas perpendiculares.

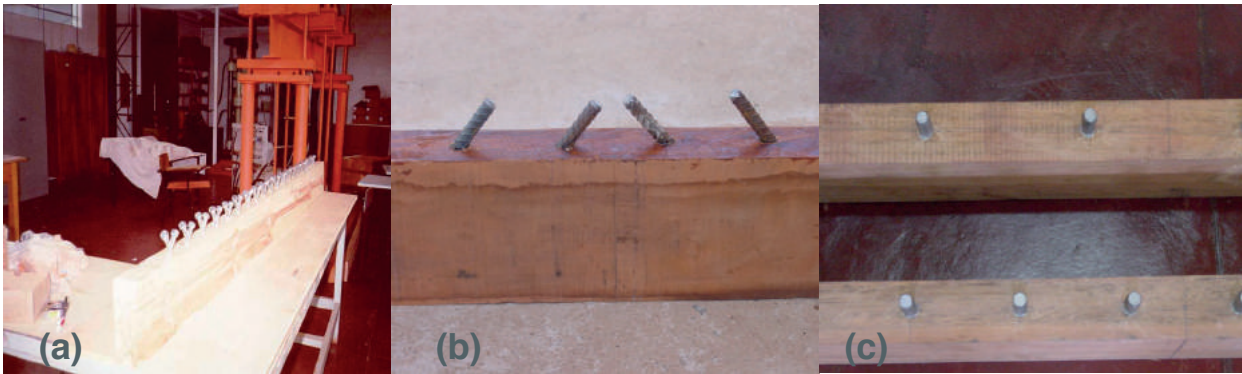


Tabla 1. Cantidad de conectores, espaciamiento y posicionamiento de los conectores.

Vigas	pinos/viga	d (mm)	s (cm)	Posición
1 a 4	40	12,7	10	En forma de X
5 e 6	20	12,5	10	Inclinado (50º)
7	14	12,5	15	
8	12	12,5	20	
9 e 10	20	12,5	10	Perpendicular
11 e 12	14	12,5	15	

Concreto

En las 12 vigas mixtas de madera y concreto, se utilizó concreto con una relación 1:3,8:2,4 en masa y con un factor de agua cemento igual a 0.54. Se utilizaron los siguientes componentes: cemento CP II-F 32; arena gruesa; grava número 1. Para el concreto de las vigas con conectores perpendiculares, se adicionó 9.5% de peso de microsílíce y 0.6% de peso de superplastificante, ambos en relación al cemento. Para cada concreto, se retiraron probetas de prueba de 15x30 cm para determinación de la resistencia media a la compresión y el módulo de deformación.

Homogeneización de la sección transversal

La homogeneización de la sección transversal es realizada por medio de la sección transformada, (Timoshenko y Gere, 1960). Así, se obtiene la rigidez teórica $(EI)_{th}$ de las vigas mixtas de madera y concreto.

En este procedimiento, se determinó la relación modular (n_c), Ecuación 1, la cual representa una relación entre el módulo de elasticidad del concreto E_c y el módulo de elasticidad de la madera E_w , tomada como referencia.

$$n_c = \frac{E_c}{E_w} \quad (1)$$

En una sección transversal compuesta por 2 elementos, concreto y madera, la posición de la línea neutra (LN), Y , es definida por la Ecuación 2, donde A_c y A_w representan el área de la sección transversal del concreto y de la madera respectivamente, y_c y y_w la posición del centroide del concreto y de la madera respectivamente.

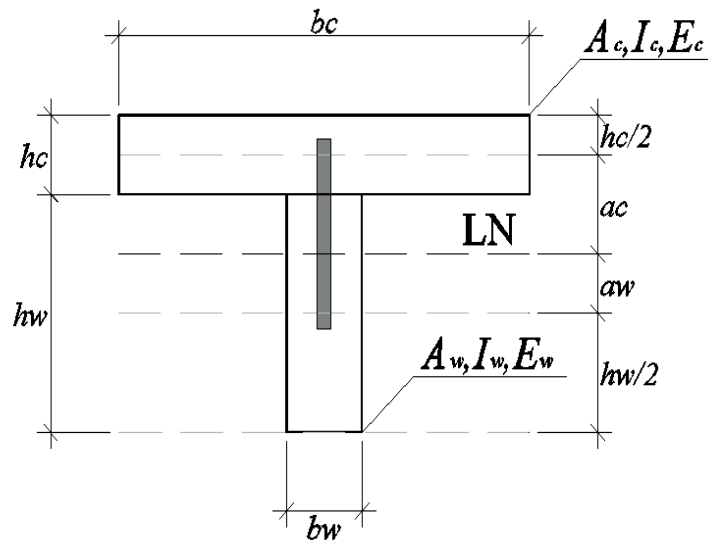
$$Y = \frac{A_w \cdot y_w + n_c \cdot A_c \cdot y_c}{A_w + n_c \cdot A_c} \quad (2)$$

A partir de la homogeneización de la sección transversal constituida por concreto (A_c) y madera (A_w), la inercia teórica es determinada por la Ecuación 3:

$$I_{th} = I_w + n_c \cdot I_c + A_w \cdot \alpha_w^2 + n_c \cdot A_c \cdot \alpha_c^2 \quad (3)$$

Los parámetros geométricos de la sección transversal de las vigas mixtas (T) de madera y concreto utilizados en el método de la sección transformada son presentados de acuerdo a la Figura 2.

Figura 2. Parámetros de la sección transversal de las vigas mixtas de madera y concreto.



Por lo tanto, la rigidez de la sección de la viga mixta de madera y concreto representa una sección rígida sin desplazamientos entre las partes constituyentes, representada por la Ecuación 4.

$$(EI)_{\text{th}} = E_w \cdot I_{\text{th}} \quad (4)$$

Donde,

E_w : módulo de elasticidad medio de la madera,

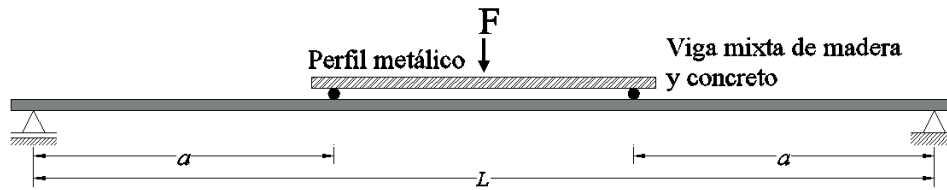
I_{th} : momento de inercia de la sección transformada de la viga mixta de madera y concreto.

Se observa que el método de la sección transformada asume perfecta transferencia de cizallamiento entre los materiales. Sin embargo, los conectores utilizados pueden no eliminar completamente el deslizamiento en la interface entre la madera y el concreto, por lo tanto, resulta una composición parcial de la sección transversal. Por esta razón, el método de la sección transformada puede no estimar con precisión las tensiones, modos de falla y flechas.

Ensayo de las vigas mixtas de madera y concreto

El ensayo de las vigas mixtas de madera y concreto fue realizado en cuatro puntos por medio de la aplicación de cargas concentradas en los tercios de la longitud simultáneamente, por medio de un perfil metálico (Figura 3). Se limitó el desplazamiento vertical en $L/300$ (según la Norma Brasileira Reglamentadora – NBR 6118 de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2003), limitación para carga permanente en el concreto y se retiró los instrumentos de medida con el fin de llevar las vigas a la rotura. Estas fueron ensayadas en un pórtico de reacción, por medio de un actuador hidráulico con capacidad de 300 kN y los desplazamientos verticales fueron obtenidos utilizando relojes comparadores con sensibilidad igual a 0.01 mm, localizados en la sección transversal de las vigas mixtas.

Figura 3. Esquema estructural de ensayo de las vigas mixtas de madera y concreto.



A partir de los valores de desplazamientos verticales en $L/2$ debido a la aplicación de las cargas puntuales $F/2$, aplicada en los tercios de la longitud, localizados en dos puntos equidistantes del centro de la viga, conforme a la Figura 3. La rigidez experimental $(EI)_{exp}$ se obtuvo por medio de la Ecuación 5.

$$(EI)_{exp} = \frac{F}{\Delta} \cdot \frac{a}{48} \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2) \quad (5)$$

Donde,

F : Fuerza total aplicada en las vigas,

Δ : Desplazamiento vertical medido en $L/2$,

L : Longitud de la viga de madera y concreto, a : Lugar de aplicación de las cargas en los tercios de la longitud $L/3$.

Eficiencia

La eficiencia (α) está dada por la Ecuación 6, que relaciona la rigidez experimental obtenida a partir de los datos experimentales de carga versus desplazamiento vertical y la rigidez teórica obtenida a partir de la homogenización de la sección de las vigas (de sección T).

$$\alpha = (EI)_{exp} / (EI)_{th} \quad (6)$$

Donde,

$(EI)_{exp}$: Rigidez experimental,

$(EI)_{th}$: Rigidez teórica.

Análisis estático

A partir de los datos obtenidos para cada viga, fueron ajustadas ecuaciones de regresiones lineales simples, considerando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_i = \beta X_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Donde,

Y : Desplazamiento vertical (mm),

X : Carga (kN),

β : Coeficiente de regresión,

ε_i : Error aleatorio asociado a la observación Y_i supuesto normal e independientemente distribuido con media cero y varianza σ^2 . Se utilizó una prueba F para el coeficiente de regresión, adoptándose un nivel de significancia hasta del 5% de probabilidad.

Para cada observación obtenida en cada viga mixta, fue calculada la eficiencia. Considerando los datos de las 12 vigas, cada viga con r_i observaciones, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) suponiendo un diseño completamente aleatorio con 12 tratamientos cada uno con r_i observaciones. Las medidas fueron comparadas por la prueba Tukey al 5% de probabilidad. Fue utilizada una media armónica del número de repeticiones, obteniendo así una única diferencia mínima significativa (DMS) para la comparación de las medias.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 2, se presentan los valores medios de las propiedades físicas y mecánicas de la madera obtenidas según la NBR 7190 de la ABNT (1997).

Tabla 2. Valores medios de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas.

Vigas	Madeira	P_{op} (kg/m ³)	f_w (MPa)	E_w (MPa)
1	<i>Pinus oocarpa</i>	516	42,4	6415
2	<i>Pinus oocarpa</i>	516	42,4	6415
3	<i>Eucalyptus grandis</i>	703	49,6	18430
4	<i>Eucalyptus grandis</i>	703	49,6	18430
5	<i>Cupiúba</i>	838	51,3	8614
6	<i>Cupiúba</i>	838	51,3	9035
7	<i>Cupiúba</i>	838	51,3	8946
8	<i>Cupiúba</i>	838	51,3	10445
9	<i>Cupiúba</i>	838	54,4	10848
10	<i>Cupiúba</i>	838	54,4	11292
11	<i>Cupiúba</i>	838	54,4	18626
12	<i>Cupiúba</i>	838	54,4	17705

En la Tabla 3 son presentados los valores medios de las propiedades físicas y mecánicas del concreto utilizado en las 12 vigas mixtas, según las NBR 6118 de la ABNT (2003).

Tabla 3. Valores medios de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos.

Vigas	P_c (kg/m ³)	f_c (MPa)	E_c (MPa)
1	2500	43,8	45000
2	2500	43,0	44500
3	2500	30,0	36000
4	2500	31,1	38000
5	2500	44,6	44410
6	2500	35,8	40900
7	2500	40,4	43290
8	2500	34,1	41590
9	2500	53,0	42005
10	2500	53,0	42005
11	2500	48,2	37935
12	2500	48,2	37935

En la Tabla 4 son presentadas las dimensiones de las vigas mixtas de madera y concreto, además de los valores de rigidez relativos a la homogenización de la sección mixta.

Tabla 4. Dimensiones, propiedades físicas y rigidez de las vigas mixtas de madera y concreto obtenidos por medio de la sección transformada.

Vigas	b_c (cm)	h_c (cm)	b_w (cm)	h_w (cm)	n_c	Y (cm)	I_{th} (cm ⁴)	$(EI)_{th}$ (kN.mm ²)
1	30,0	5,0	5,8	15,3	7,01	17,01	12354,39	792534135,13
2	30,0	5,0	5,8	15,3	6,94	17,00	12322,67	790499394,37
3	30,0	5,0	5,7	15,6	1,95	15,70	9650,89	1778659822,15
4	30,0	5,0	5,7	15,6	2,06	15,80	9774,59	1801456931,50
5	30,0	5,0	5,5	15,0	5,16	16,54	10612,71	914178919,97
6	30,0	5,0	5,5	15,5	4,53	16,86	11078,94	1000982578,00
7	30,0	5,0	5,5	15,5	4,84	16,92	11234,18	1005010146,76
8	30,0	5,0	5,5	15,0	3,98	16,29	10039,93	1048671187,53
9	30,0	5,0	5,0	14,5	3,87	15,92	8607,52	933743512,29
10	30,0	5,0	5,0	14,5	3,72	15,88	8532,24	963459980,13
11	30,0	5,0	5,0	14,5	2,04	15,13	7476,87	1392641395,80
12	30,0	5,0	5,0	14,5	2,14	15,21	7563,31	1339083730,75

En la Tabla 5, son presentadas las ecuaciones de regresión ajustadas para cada viga ($\hat{Y} = \hat{\beta}X$) con la prueba F y el respectivo coeficiente de determinación (R^2). Las ecuaciones fueron obtenidas a partir de los resultados experimentales de carga aplicada en los tercios de las longitudes de las vigas mixtas de madera y concreto versus desplazamiento vertical medido en la parte central de estas.

Para las 12 vigas se verificó una relación linear entre Y (desplazamiento vertical “flecha”) y X (carga), relación que esta descrita por un modelo de regresión linear simple sin intercepto, en que el coeficiente de regresión fue estadísticamente significativo ($p < 0.01$) por la prueba F. Por lo tanto, el límite de desplazamiento vertical en $L/300$, según la NBR 6118 de la ABNT (2003), fue adecuado para el ensayo, ya que las vigas mixtas de madera y concreto fueron ensayadas dentro del régimen elástico.

Tabla 5. Ecuaciones de regresión ajustadas para cada viga ($\hat{Y} = \hat{\beta}X$) con la prueba F y el respectivo coeficiente de determinación (R^2) ^{1/}.

Vigas	GL	QMR	F _{calculado}	$\hat{\beta}$	R ² (%)
1	12	0,19801	3852,11	0,21665**	99,7
2	7	0,00424	32886,60	0,19971**	99,9
3	16	0,06125	10408,00	0,13056**	99,8
4	16	0,10694	6425,10	0,13554**	99,7
5	8	0,00967	27021,10	0,22630**	99,9
6	8	0,08521	3844,31	0,25343**	99,8
7	8	0,08861	3745,25	0,25509**	99,8
8	8	0,39531	1330,75	0,32117**	98,4
9	10	0,04133	9304,91	0,35950**	99,9
10	10	0,05953	6456,88	0,39930**	99,8
11	10	0,05409	7108,05	0,42929**	99,9
12	10	0,04034	9534,44	0,33650**	99,9

^{1/}GL: Número de grados de libertad del residuo;

QMR: Cuadrado medio del residuo.

**Significativo en nivel de 1% de probabilidad por la prueba F.

En la Tabla 6, se tiene los valores medios de la eficiencia de la conexión en las vigas mixtas de madera y concreto obtenidas a partir de los resultados experimentales de carga aplicada en los tercios de la longitud de las vigas mixtas versus desplazamiento vertical medido en la parte central de estas y de los resultados teóricos derivados de la homogenización de la sección transversal de las vigas mixtas. Se constató que las vigas mixtas con tornillos autoajustables y espaciamiento igual a 10 cm, formando una X, presento las mayores eficiencias en las conexiones y se diferencian estadísticamente de los demás tratamientos de conexión. Las vigas mixtas que poseían clavijas metálicas como conectores de cizallamiento y espaciadas a 15 cm, perpendiculares y colocadas en la madera, presentaron la menor eficiencia y también se diferenciaron estadísticamente de los demás tipos de conexión.

Tabla 6. Valores medios de la eficiencia para cada viga mixta de madera y concreto con una prueba de Tukey.

Viga (i)	Eficiencia media*	r_i
1	0,89089 a	12
2	0,88962 a	7
5	0,69380 b	8
3	0,63128 b c	16
4	0,57830 c d	16
7	0,54567 d	8
6	0,53536 d	8
8	0,42728 e	8
9	0,40141 e f	10
10	0,34868 f g	10
12	0,29930 g	10
11	0,22681 h	10
CV = 8,15%; DMS = 0,0673		$r_h = 9,59$

*En la columna, las medias seguidas de por lo menos una misma letra no difieren estadísticamente en nivel de 5% de probabilidad por la prueba de Tukey; CV: Coeficiente de variación experimental; DMS: Diferencia mínima significativa; r_h : media armónica del número de repeticiones.

En la Figura 4, son presentados los modos de rotura que ocurren en las vigas mixtas de madera y concreto, siendo caracterizados por tracción localizada en los tercios de la longitud. En la Tabla 7, son presentados los valores de las cargas de rotura de las 12 vigas mixtas de madera y concreto, siendo evidenciadas por la tendencia de aproximación con los valores de cargas referentes al desplazamiento vertical de $L/300$, según la NBR 6118 de la ABNT (2003), en las vigas que presentaron mayor rigidez. Así mismo, se constató que los valores de las cargas de rotura son elevados y de esa forma revelan un aspecto estructural positivo del rendimiento y desempeño de ese tipo de estructura, tal como fue observado por Mascia y Soriano (2004), Soriano y Mascia (2009), Miotto y Dias (2011).

Figura 4. Rotura de las vigas mixtas: a-viga 1; b – viga 3; c-viga 7; d-viga 11.



Tabla 7. Carga de rotura P_{rup} y carga $P_{L/300}$ en las vigas mixtas de madera y concreto.

Vigas	P_{rup} (kN)	$P_{L/300}$ (kN) ^{1/}
1	79,40	30,00 (6,05 mm)
2	37,10	30,00 (6,00 mm)
3	158,00	45,00 (5,74 mm)
4	93,00	45,00 (5,70 mm)
5	52,00	25,00 (5,59 mm)
6	53,59	25,00 (6,05mm)
7	70,00	25,00 (5,95 mm)
8	45,90	20,00 (6,00 mm)
9	62,03	16,96 (6,00 mm)
10	51,11	15,51 (6,00 mm)
11	64,06	14,27 (6,00 mm)
12	63,26	18,13 (6,00 mm)

^{1/}Valores entre paréntesis en la columna $PL/300$ correspondiente al desplazamiento vertical de $L/300$, según la NBR 6118 de la ABNT (2003).

CONCLUSIONES

Se constató que las vigas mixtas con tornillos autoajustables como conectores de cizallamiento y espaciados cada 10 cm formando una X, tuvieron un mejor desempeño estructural, pues la eficiencia de las conexiones fue mayor y se diferenciaron estadísticamente de los demás tipos de conexiones. Las vigas mixtas que poseían clavijas metálicas

como conectores de cizallamiento y espaciadas cada 15 cm perpendiculares y colocados en la madera, presentaron una menor eficiencia y se diferenciaron estadísticamente de los demás tipos de conexiones.

Considerando no solo estas conclusiones, sino el desarrollo de estas investigaciones, se puede constatar en términos generales que las aplicaciones de las estructuras mixtas de madera y concreto tienen una favorable perspectiva de aplicación en la construcción civil.

GRATAMIENTOS

A la coordinación de perfeccionamiento de personal de nivel superior (Capes), fundación del Ministerio de la Educación (MEC), Brasil, por el apoyo financiero en forma de beca de estudios de maestría.

■ REFERENCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
3. Bathon, L. y Graf, M. A continuous wood-concrete-composite system. Proceedings of the 7th World Conference on Timber Engineering. WCTE 2002. Whistler, Canadá. 2002
4. Carvalho, E. P. y Carrasco, E. V. M. Influence of test specimen on experimental characterization of timber concrete composite joints. Construction & Building Materials, Vol. 24, pp. 1313-1322, 2010.
5. Fontana, M. y Frangi, A. Fire behaviour of timber concrete composite slabs. International Wood Engineering Conference, Montreux, Switzerland, 1998.
6. Frangi, A. Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken. Institute of Structural Engineering IBK. Swiss Federal Institute of Technology ETH Zurich. [PhD Thesis] No. 14328 and IBK-report No. 269, vdf Hochschulverlag AG. September, 2001.
7. Jorge, L. y Silva, S. Resistência ao fogo de estruturas de madeira lamelada-colada, en Congresso Nacional da Engenharia de Estruturas, pp. 431 - 438. LNEC, 2002.
8. Jorge, L. F. C. Estruturas mistas madeira-betão com a utilização de betões de agregados leves [en línea]. [s.n.], 2005. 235p. [Doctoral Thesis]. Universidade de Coimbra, 2005. Disponible en: <http://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/126> .
9. Mascia, N. T. y Soriano, J. Benefits of timber-concrete composite action in rural bridges. Materials and Structures, Vol. 37, pp. 122-128, 2004.
10. Miotto, J. L. y Dias, A. A. Glulam-concrete composites: experimental investigation into te connection system. Materials Research (São Carlos. Impresso), Vol. 14, pp. 53-59, 2011.

11. Miotto, J. L., Calil Jr., C. y Dias, A. A. Log-concrete composite bridge decks in Brazil: requirements and applications. *Structural Engineer*, London, Vol. 87, pp. 24 -32, 2009.
12. Miotto, J. L. y Dias, A. A. Evaluation of perforated steel plates as connection in glulam concrete composite structures. *Construction & Building Materials*, Vol. 28, pp. 216-223, 2002.
13. Soriano, J. y Mascia, N. T. Estruturas mistas em madeira-concreto: uma técnica racional para pontes de estradas. *Ciência Rural*, Vol. 39, pp. 1-10, 2009.
14. Timoshenko, S. P. y Gere, J. E. *Mecânica dos sólidos*. Rio de Janeiro. En: *Livros Técnicos e Científicos*, Vol.1, 256 p, 1960.
15. Toratti, T., Talja, A. y Järvinen, E. Classification of human-induced floor vibrations in buildings: a wood-concrete composite floor example. *Proceedings of the 7th World Conference on Timber Engineering. WCTE2002*. Shah Alam, Malásia, pp. 43-51, 2002.
16. Turrini, G. y Piazza, M. Una tecnica di recupero statico dei solai in legno. *Recuperare* No. 5, pp. 224 -237, 1983.
17. Yttrup, P. Concrete and Timber Composite Construction for Enhanced Strength, Stiffness and Service Life for Timber Bridges. [en línea]. [citado 3 de Octubre de 2005]. Disponible en: <http://oak.arch.utas.edu.au>.

“

Fluxo radial de preservativo
CCA em madeiras de Eucalipto”

Wescley Viana **Evangelista**
UNEMAT

José de Castro **Silva**
UFV

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi caracterizar o fluxo radial do preservativo arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C) em madeiras de eucalipto. Para isto, utilizaram-se as madeiras de duas espécies propagadas por sementes - *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus cloeziana* – e de dois híbridos clonais – *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e um híbrido de *Eucalyptus urophylla*, com origem paternal desconhecida. Realizou-se o tratamento preservativo da madeira em uma autoclave industrial, sob sistema de vácuo-pressão. Antes do tratamento preservativo, em parte das amostras foi feita a vedação total das suas extremidades, contendo o plano transversal, com uma resina epóxi, de maneira que a penetração de CCA ocorresse apenas radialmente. Na outra parte das amostras não houve nenhuma vedação, permitindo a penetração axial e radial do preservativo. As madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e dos dois híbridos clonais, com vedação nas extremidades, apresentaram penetração irregular e não total de CCA no alburno. No entanto, a madeira de *Corymbia citriodora*, com vedação nas extremidades, e as demais amostras sem vedação de todas as espécie/híbridos tiveram penetração total, profunda e regular do preservativo no alburno. Os índices de retenção foram acima de $6,5 \text{ kg.m}^{-3}$ de madeira tratada de CCA em todas as amostras, com e sem vedação das extremidades. Conclui-se que a superfície transversal apresenta efeito significativo sobre a penetração de CCA nas madeiras das espécies/híbridos estudadas, exceto para o *Corymbia citriodora* que é mais permeável, mesmo com a vedação das extremidades.

Palavras-chave: Preservação de Madeiras, Permeabilidade, Retenção e Penetração, *Eucalyptus*, *Corymbia citriodora*.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor de árvores cultivadas inclui diversas espécies florestais. No ano de 2019, a área total de árvores plantadas totalizou cerca de 9,0 milhões de hectares, um aumento de cerca de 2,4% em relação a 2018. Desse total, a maioria (77%) era representada pelos plantios de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares, e 18% por plantios de pinus, com 1,64 milhão de hectares. Além desses cultivos, existiam 0,39 milhão de hectares plantados de outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca e paricá. Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina continuavam sendo os maiores detentores de plantios florestais no País (IBÁ, 2020).

Os plantios florestais no Brasil proporcionam a fabricação de produtos de madeira, celulose, papel e produtos de papel, painéis de madeira, pisos laminados e carvão vegetal para aço verde etc., além de gerar emprego e renda, combinada com uma atuação socialmente e ambientalmente responsável. Em 2019, o setor de plantios florestais registrou uma receita bruta de R\$ 97,4 bilhões, um crescimento de 12,6% em relação ao ano anterior, contribuindo com 1,2% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (IBÁ, 2020).

Algumas espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* têm grande importância econômica para o setor florestal nacional, sendo a madeira o principal produto obtido do cultivo de suas árvores. De acordo com Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020), no ano de 2019, os estados com maior número de plantios de eucalipto eram Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul (IBÁ, 2020). No ano de 2018, as madeiras dessas espécies eram usadas principalmente para produção de celulose e papel, lenha industrial, carvão vegetal e em menor escala para painéis reconstituídos e usos na indústria moveleira. Neste mesmo período a produção de madeira de eucalipto tratada quimicamente com preservativos químicos sempre foi muito baixa quando comparado aos demais usos, sendo consumido cerca de 1,4 milhão de metros cúbicos. Isto correspondeu a 0,84% do consumo total de madeira de eucalipto no ano de 2018 (IBÁ, 2019).

A realização do tratamento preservativo da madeira é importante para garantir sua maior resistência a ação de organismos biológicos degradadores, de forma a proporcionar uma maior vida útil em serviço. O tratamento preservativo, quando realizado de forma tecnicamente correta e com o uso de um preservativo adequado, mantém a integridade estrutural da madeira, impede o ataque de organismos xilófagos e, consequentemente, aumenta o tempo de serviço das peças de madeira tratada. Para o tratamento da madeira roliça de eucalipto no Brasil, o preservativo arseniato de cobre cromatado (CCA) tem sido o mais usado no Brasil.

O CCA é um dos preservativos mais eficientes para o tratamento preservativo da madeira, protegendo-a de insetos, fungos apodrecedores e brocas marinhas, além de permitir o seu uso em situações mais agressivas, como em contato direto com o solo e a umidade. O CCA é um preservativo hidrossolúvel constituído de cobre, cromo e arsênio. O cobre tem ação fungicida, o arsênio tem ação inseticida e o cromo age como fixador desses elementos na madeira (MONTANA QUÍMICA, 2008). Anteriormente o CCA era comercializado nas formulações CCA tipo A e CCA tipo B, mas no período atual é comercializado apenas o CCA tipo C. Segundo Lebow (2010), o CCA tipo C possui uma combinação ótima de eficiência e resistência a lixiviação quando comparado as formulações anteriores. A versão atual do CCA tipo C possui 47,5% de CrO_3 , 18,5% de CuO e 34,0% de As_2O_5 .

Segundo Montana (2008), o CCA também não altera a condutibilidade elétrica da madeira, não contribui para a corrosividade dos metais, confere coloração esverdeada para a madeira e permite acabamentos superficiais, além de revestimentos com adesivos e resinas usadas em compensados e outros painéis. A madeira tratada com CCA, entretanto apresenta restrições de uso em algumas situações, como forração de criadouros de animais ou em situações que a madeira possa contaminar ou tornar-se componente da alimentação humana ou animal, como recipientes ou silos de armazenamento, colmeias, tábuas de bater carne e pilões para tempero. Apesar dessas restrições de uso, esse preservativo é um dos mais efetivos para proteção a madeira em situações mais agressivas, como em contato direto com o solo e água.

No Brasil, a madeira tratada de eucalipto é basicamente usada para produção de moirões de cerca, postes, dormentes ferroviários, produtos sólidos para usos na construção rural e civil, entre outros. Segundo Brasil (1965), o tratamento preservativo da madeira no Brasil é obrigatório em serviços de utilidade pública, realizados por empresas públicas e privadas, destinados aos transportes ferroviário e rodoviário, serviços telefônicos e de fornecimento de eletricidade, conforme a Lei nº 4.797, de 20 de outubro de 1965.

A metodologia de tratamento preservativo sob pressão mais utilizada no Brasil é pelo método Bethell. Segundo Hunt e Garratt (1962), esse método foi desenvolvido e patenteado por John Bethell, em 1838, na Inglaterra, e consiste nas etapas de vácuo inicial, seguida da admissão do preservativo, sem a entrada de ar do cilindro da autoclave, indo para uma fase de pressão de impregnação do produto na madeira. Passado esse tempo, há o esvaziamento do preservativo no cilindro da autoclave e aplicação de um vácuo final (etapa essa não citada na patente inicial). O método Bethell utilizava, originalmente, preservativos oleosos; entretanto desde o século XX, preservativos hidrossolúveis também são utilizados. Mais detalhes sobre o método Bethell são mostrados por Moreschi (2013).

O tratamento preservativo da madeira é afetado por diversos fatores, sendo eles relacionados as próprias características da madeira, ao preservativo e a metodologia de tratamento usada. Segundo Nicholas e Siau (1973), Siau (1984), as características da madeira que afetam o tratamento preservativo estão relacionadas à porcentagem de alburno e cerne, estrutura anatômica, permeabilidade, densidade, umidade, entre outros fatores. Dentre estes fatores, a permeabilidade é importante e merece atenção. A permeabilidade é definida como a facilidade em que os fluidos são transportados através de um material poroso, sob a influência de um gradiente de pressão. Segundo Nicholas e Siau (1973), a permeabilidade é influenciada pela estrutura anatômica da madeira, pela ocorrência de pontuações aspiradas, pela umidade da madeira e pelo tamanho dos poros. De acordo com Tamblyn (1984) e Silva et al. (2010), a madeira de eucalipto apresenta alburno permeável ao fluxo longitudinal (ou axial) de líquidos, possibilitando o seu tratamento preservativo sem dificuldades, enquanto a madeira do cerne já é mais impermeável.

A permeabilidade da madeira é também muito maior na direção longitudinal quando comparada a direção transversal, sendo isso explicado devido basicamente a sua estrutura anatômica. Na direção longitudinal, no sentido paralelo às fibras, é que estão localizadas as células que permitem o fluxo de fluidos com maior facilidade, como os elementos de vasos das madeiras de folhosas e os traqueoides das madeiras de coníferas (NICHOLAS e SIAU, 1973).

O conhecimento da permeabilidade radial da madeira se torna importante principalmente no tratamento preservativo de peças de grandes comprimentos, como postes ou componentes de grandes dimensões para construções, onde a penetração radial deve ser tão efetiva quanto a longitudinal, de forma a permitir distribuição homogênea do preservativo em toda a extensão do alburno. Madeiras com maior permeabilidade radial possivelmente poderão demandar menor tempo de impregnação sob pressão em autoclave, otimizando o processo produtivo, reduzindo o tempo de se realizar o tratamento preservativo e, conseqüentemente, os custos da indústria de preservação de madeiras, além de aumentar os lucros da indústria.

Segundo Siau (1984), a efetividade de um tratamento preservativo é avaliada pela penetração e retenção dos preservativos na madeira. A retenção é a quantidade de preservativo introduzido e retido na madeira, sendo expressa em peso de componentes ativos do produto por unidade de volume de madeira tratada; no sistema métrico decimal, a retenção é expressa em kg/m^3 (quilogramas por metro cúbico); no sistema inglês, é expressa em lb./pé^3 (libras por pé cúbico), com equivalência de 1 kg/m^3 para 16 lb./pé^3 . A penetração é a profundidade que o preservativo alcança na madeira, sendo comumente avaliada por reações colorimétricas, permitindo a avaliação qualitativa da distribuição do preservativo na região tratável da madeira (SIAU, 1984).

De acordo com a NBR 16.143 (ABNT, 2013), para os diversos produtos de madeira tratada recomenda-se uma penetração do preservativo em toda a seção do alburno e retenções variáveis, de acordo com o preservativo e o uso final da madeira tratada (ABNT, 2013). Nesse caso, temos que a permeabilidade, enquanto fator importante que influencia no tratamento preservativo das madeiras, também pode ser avaliada como critério de determinação e avaliação dos índices de retenção e penetração de preservativos.

OBJETIVO

Considerando a importância econômica dos plantios de eucalipto no Brasil e a necessidade de se conhecer melhor sobre a permeabilidade das madeiras, o objetivo desse trabalho foi avaliar a permeabilidade radial de madeiras de eucalipto tratadas com o preservativo arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C), a partir da determinação da penetração e da retenção desse preservativo na madeira.

MÉTODOS

Coleta e amostragem do material

As madeiras estudadas foram oriundas de plantios comerciais de eucalipto localizados no município de Itamarandiba, Minas Gerais. A região apresenta precipitação média anual de 1.156,75 mm, temperatura média anual de 20,76 °C e umidade relativa do ar média anual de 68,43%. O clima da região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Koppen.

Avaliaram-se quatro espécies/híbridos de eucalipto com cerca de 68 meses de idade e plantadas com espaçamento 3,00 x 2,80 m, sendo duas espécies propagadas por sementes – *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. Johnson e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell – e dois híbridos clonais – *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. x *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com origem paternal desconhecida. De cada espécie/híbrido foram selecionadas quatro árvores, utilizando-se para cada árvore selecionada a seção correspondente às três primeiras toras, a partir da base, cada uma delas com 3 m de comprimento, totalizando 48 toras.

Tratamento preservativo e determinação da penetração e retenção de CCA nas madeiras

Para a avaliação do fluxo radial de preservativo na madeira, realizou-se o tratamento preservativo das amostras, sob sistema de vácuo-pressão, e determinou-se a penetração e retenção desse produto na madeira. Para isso, de cada tora retirou-se a porção

correspondente a 2,20 m de comprimento, a partir do ápice da tora original de 3,00 m. De cada tora de 2,20 m foram confeccionadas duas amostras, com 60 cm de comprimento cada, a partir da base, totalizando 96 amostras.

Essas amostras foram secas ao ar livre até a madeira do alburno atingir uma umidade menor que 30%, base seca. Após a secagem, realizou-se o tratamento preservativo da madeira em uma autoclave industrial. O preservativo utilizado foi uma solução aquosa de arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C), com concentração de 2,0%. A metodologia de tratamento preservativo utilizada foi pelo processo de célula cheia (Bethell), adotando-se as seguintes etapas: carregamento das amostras no cilindro da autoclave, 30 min. de vácuo inicial a 560 mmHg, enchimento da autoclave com a solução de CCA, aplicação de 90 min. de pressão a $12,5 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$, esvaziamento da autoclave, 10 min. de vácuo final a 560 mmHg e descarregamento das amostras.

Em cada tratamento preservativo realizado na autoclave foram colocadas seis amostras de cada espécie/híbrido de eucalipto, correspondendo a duas amostras de cada uma das três posições longitudinais, ou seja, base (primeira tora), região intermediária (segunda tora) e terceira tora, totalizando 24 amostras por tratamento. Das duas amostras de cada espécie/híbrido e posição longitudinal, uma delas teve as suas duas extremidades seladas com uma resina epóxi de secagem rápida, enquanto a outra amostra não teve nenhuma intervenção. Isso foi feito para impedir a penetração de CCA através da superfície transversal (plano transversal), de maneira que a penetração inicial de CCA na madeira ocorresse apenas através do sentido perpendicular às fibras, de forma radial. No total foram utilizadas 24 amostras em cada tratamento preservativo na autoclave, correspondentes a quatro espécies/híbridos, três posições na árvore e duas amostras por espécie/híbrido e posição longitudinal.

O experimento contou com quatro repetições e as amostras utilizadas em cada tratamento foram sempre oriundas de árvores diferentes.

Após o tratamento preservativo, as amostras de 60 cm de comprimento de cada espécie/híbrido foram divididas na sua região central, a 30 cm de comprimento, em duas sub-amostras, com o auxílio de uma motosserra. A superfície transversal dessa região central, de uma dessas sub-amostras, foi utilizada para a avaliação do fluxo radial de preservativo, a partir da penetração radial de CCA, através do uso da solução de cromoazurol-S, conforme Standard A3-08 da American Wood Protection Association - AWPA (AWPA, 2010) e NBR 6232 (ABNT, 2013). Essa solução foi aplicada diretamente sobre a superfície transversal da madeira, com o auxílio de um pincel, e as regiões de madeira tratada com CCA apresentavam coloração azul-escuro, enquanto regiões da madeira não tratada apresentavam coloração avermelhada. A avaliação do fluxo radial de CCA foi feita com base em uma metodologia

descrita por Montana Química (2008) e também com base na avaliação de preservativo preconizada pela NBR 16143 (ABNT, 2013). A NBR 16143 (ABNT, 2013) estabelece o tratamento de 100% do alburno, enquanto Montana Química (2008) enfatizou a seguinte distribuição do preservativo na madeira:

- Profunda e regular: indica a penetração total e uniforme em toda a extensão do alburno.
- Profunda e irregular: indica a penetração total, mas desuniforme em toda a extensão do alburno. Nesse caso, há regiões do alburno sem penetração do preservativo.
- Parcial e regular: indica a penetração uniforme, mas não total pela extensão do alburno.
- Parcial e irregular: indica a penetração desuniforme e não total pela extensão do alburno.

Considerou-se também a retenção de CCA nas madeiras de eucalipto. Para isso, de cada amostra (com e sem vedação das extremidades), nas sub-amostras que foram utilizadas para a avaliação do fluxo radial, retiraram-se cinco baguetas de formato cilíndrico na direção perpendicular às fibras. A retenção foi determinada em um espectrômetro de fluorescência de raios X, de acordo com Standard A9-08 da AWPA (AWPA, 2010).

Análise dos dados

Para análise das diferenças da retenção de CCA utilizou-se o teste t de Student para amostras independentes, com 5% de significância, considerando apenas o efeito da espécie/híbrido. Nas análises de retenção de CCA, considerou-se também o efeito da vedação das extremidades. As análises foram realizadas em planilhas do *Excel*.

RESULTADOS

Fluxo radial de CCA nas madeiras

A partir da vedação das extremidades das amostras de eucalipto com adesivo epóxi de secagem rápida observou-se que houve penetração de CCA de forma irregular no alburno das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e nos dois híbridos (Figura 1). Em todas as amostras avaliadas dessas espécie/híbridos a penetração de CCA não ocorreu em 100% do alburno (Figuras 1C a 1H), conforme exigência da NBR 16143 (ABNT, 2013). Nessas madeiras, a

penetração de CCA pode ser classificada como do tipo profunda e irregular, indicando penetração desuniforme em toda a extensão do alburno e ineficiência do fluxo radial.

A madeira de *Corymbia citriodora*, no entanto, foi a única que apresentou regularidade na penetração de CCA com a vedação das extremidades (Figuras 1A e 1B), tendo penetração em 100% do alburno. Nesse caso a penetração pode ser classificada como do tipo profunda e regular.

As amostras de madeira sem vedação das extremidades de todas as espécies/híbridos de eucalipto, no entanto, tiveram penetração de 100% do alburno ou penetração classificada como sendo do tipo profunda e regular (Figura 2). Sem a existência de nenhuma barreira física na superfície transversal, a penetração de CCA nessas amostras ocorreu de maneira satisfatória.

Retenção de CCA

Com relação à retenção de CCA nas amostras com vedação nas extremidades observou-se uma maior retenção de CCA na madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, enquanto as madeiras de *Corymbia citriodora* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* foram observadas as menores retenções (Tabela 1). Nas madeiras sem vedação nas extremidades foi observado maiores valores de retenção nas espécies, enquanto as menores retenções foram observadas nas madeiras dos dois híbridos clonais.

Tabela 1. Valores médios da retenção (kg m^{-3} de ingredientes ativos) de CCA tipo C, com e sem vedação das extremidades, das amostras de madeira das espécies e híbridos de eucalipto

Tratamento preservativo	Espécies		Híbridos	
	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Com vedação nas extremidades	6,82 bB ¹ (0,29) ²	7,03 abB (0,62)	6,84 abA (0,62)	7,30 aA (0,73)
Sem vedação nas extremidades	7,83 aA (1,06)	7,56 bA (0,36)	6,63 dA (0,35)	6,88 cA (5,31)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, não diferem entre si, pelo teste t para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valor entre parênteses, abaixo da média, corresponde ao desvio-padrão.

Registrou-se diferenças estatísticas da retenção entre as espécies e híbridos de eucalipto, tanto para as amostras com vedação, quanto para aquelas sem vedação. Nas madeiras das duas espécies houve diferença estatística de retenção de CCA entre as amostras com e sem vedação, enquanto que na madeira dos dois híbridos essa diferença não foi observada.

Figura 1. Penetração de CCA nas madeiras com vedação das extremidades: *Corymbia citriodora* (Figuras 1A e 1B), *Eucalyptus cloeziana* (Figuras 1C e 1D), híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* (Figuras 1E e 1F) e do híbrido de *Eucalyptus urophylla* (Figuras 1G e 1H). Figuras 1A, 1C, 1E e 1G: seção transversal das madeiras tratadas sem aplicação de cromoazurol-S; Figuras 1B, 1D, 1F e 1H: seção transversal das madeiras tratadas com aplicação de cromoazurol-S.

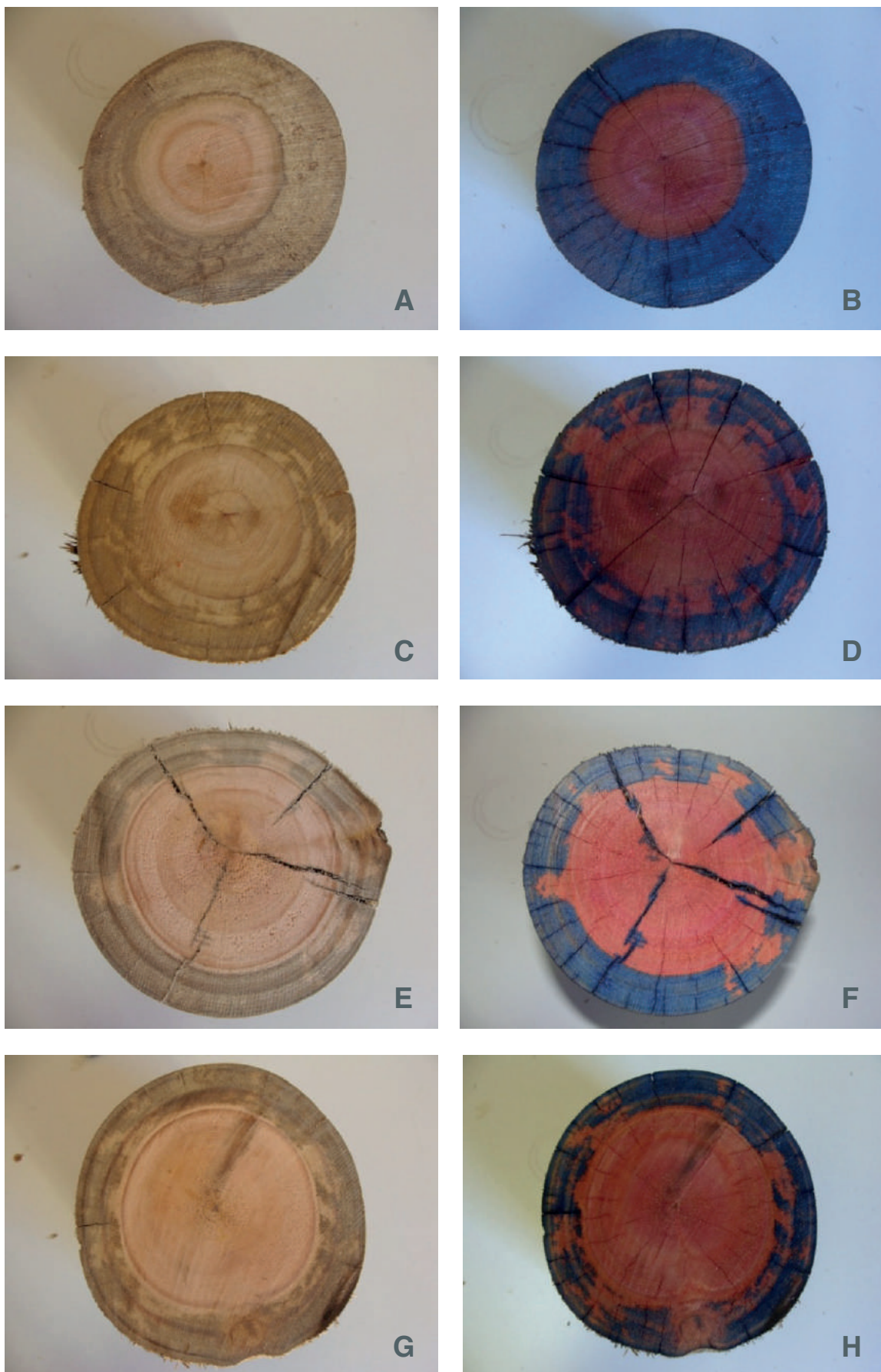
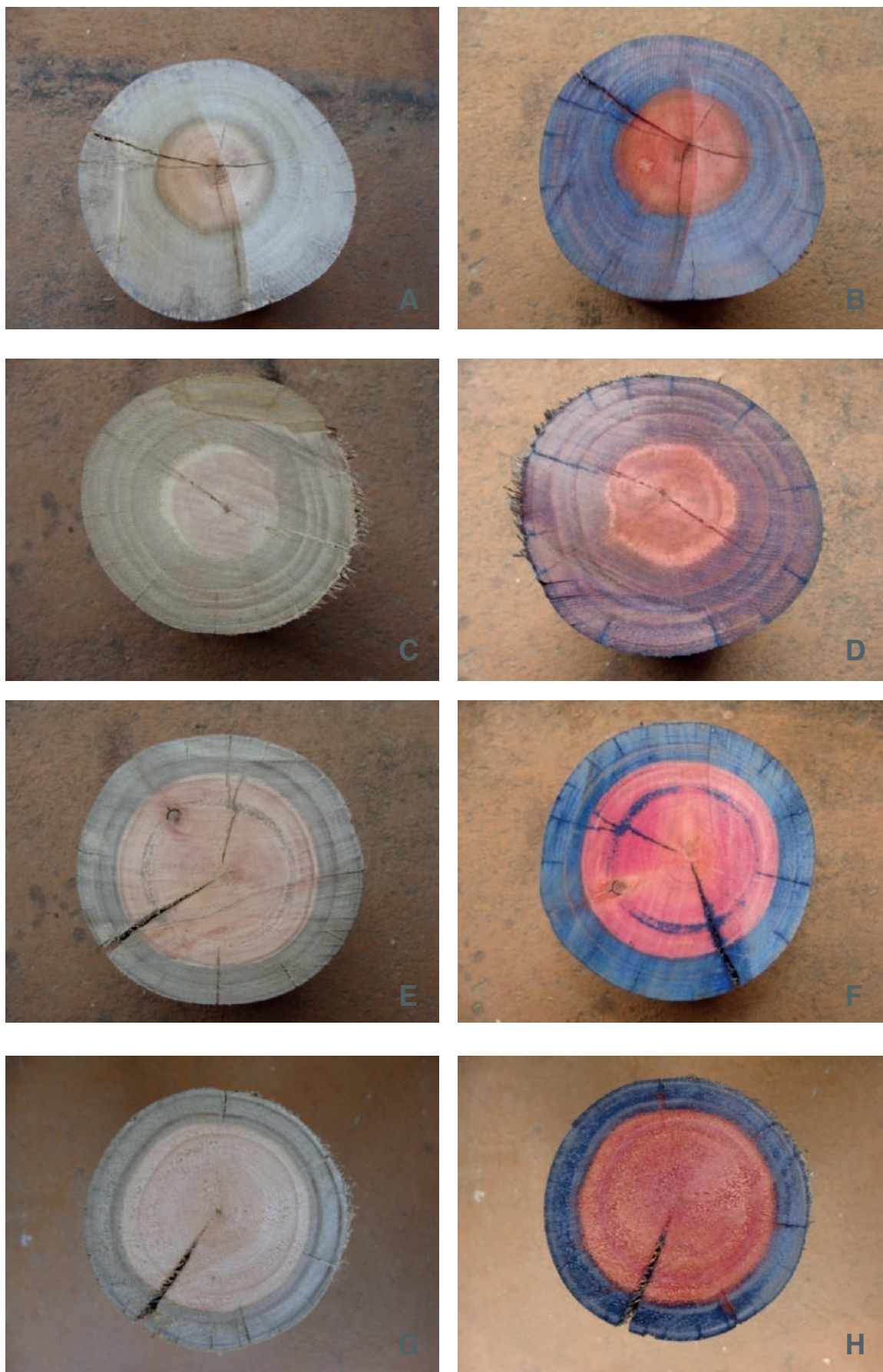


Figura 2. Penetração de CCA nas madeiras sem vedação das extremidades: *Corymbia citriodora* (Figuras A e B), *Eucalyptus cloeziana* (Figuras C e D), híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* (Figuras E e F) e do híbrido de *Eucalyptus urophylla* (Figuras G e H). Figuras A, C, E e G: seção transversal das madeiras tratadas sem aplicação de cromoazurol-S; Figuras B, D, F e H: seção transversal das madeiras tratadas com aplicação de cromoazurol-S.



Nas amostras sem vedação das extremidades as madeiras das duas espécies apresentaram os maiores valores de retenção. Todos os índices de retenção observados nesse trabalho, com ou sem vedação, atenderam aos usos da madeira tratada preconizados dentro das categoria de uso nº 1 a 4 e alguns usos da categoria de uso nº 5 propostos pela NBR 16143 (ABNT, 2013). Especificamente para a categoria de uso nº 5, as retenções obtidas atenderam ao uso da madeira tratada como moirão de cerca, atendendo também a NBR 9480 (ABNT, 2009), pois permitiu a obtenção de uma retenção mínima de $6,5 \text{ kg.m}^{-3}$ de madeira tratada, que também estabelece os requisitos mínimos para uso da madeira como moirão roliço em contato direto com o solo.

DISCUSSÃO

Conforme pode ser visto na Figura 1, nas madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e dos dois híbridos clonais não houve penetração de 100% de CCA em todo o tecido permeável (alburno), enquanto que na madeira de *Corymbia citriodora* essa penetração ocorreu em 100% do alburno. Na madeira de *Corymbia citriodora* houve uma penetração do tipo regular e profunda, enquanto nas demais espécie/híbridos essa penetração foi do tipo profunda e irregular.

A vedação das extremidades das amostras de *Eucalyptus* spp. impediu a penetração inicial do preservativo através do lume dos vasos na superfície transversal. De acordo com Siau (1984), os vasos são reconhecidos como as estruturas mais importantes para a penetração inicial dos preservativos na madeira, pois formam o caminho de fluxo longitudinal (paralelo às fibras) de menor resistência à passagem de fluidos. Devido os elementos de vasos serem células de extremidades abertas ou parcialmente abertas, dispostas paralelamente ao eixo de crescimento das árvores, a penetração no sentido paralelo às fibras se torna mais rápido e extenso, quando comparado aquela no sentido perpendicular às fibras. Os elementos de vasos também auxiliam na penetração perpendicular a grã, entre vasos ou entre vasos e outras células, pois proporcionam o fluxo radial entre essas células, via pontoações.

Nicholas e Siau (1973) relatam que a permeabilidade longitudinal da madeira pode ser superior até 1.000 vezes àquela observada no sentido transversal; entretanto, em aplicações práticas essa superioridade é de aproximadamente 100 vezes para os preservativos químicos. Essa diferença entre as permeabilidades citadas na teoria e na prática pode ser explicada devido o fluxo de preservativos não ser constante e devido essas soluções preservativas geralmente conterem impurezas ocasionadas por materiais particulados, gases dissolvidos e, ou produtos de reações químicas dos próprios preservativos com os extrativos e componentes da parede celular.

Com isso, observou-se que a vedação das extremidades das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e dos dois híbridos resultou apenas numa penetração inicial do preservativo via

pontoações das células dispostas no sentido axial das amostras. Em seguida, provavelmente, o fluxo de preservativo seguiu através dos pares de pontoações das células superficiais até atingir os vasos e permitir algum fluxo axial e também radial. Nessas espécie/híbridos observaram-se uma deficiência na distribuição radial do CCA, verificado pelo teste do cromazurol-S. Isso mostra a importância de a madeira ter vasos sem obstrução para uma penetração mais efetiva do preservativo no alburno.

Na prática o tratamento preservativo da madeira, seja de forma caseira (sem pressão) ou industrial (com pressão), nunca é feito com a vedação das extremidades das toras. A metodologia utilizada nesse trabalho foi nesse caso justificada experimentalmente apenas para avaliar qualitativamente o fluxo radial de preservativo nas madeiras das espécies/híbridos de eucalipto estudadas. Assim como a permeabilidade axial, a permeabilidade perpendicular ao sentido das fibras, no sentido radial, é também importante. Isso vale principalmente quando se considera o tratamento preservativo de peças de madeiras com grandes comprimentos, como os postes de madeira tratada ou peças de grandes comprimentos para uso em estruturas de madeira de grande porte, como em pontes. Nesse caso, o tratamento preservativo deverá empregar metodologias que permitam uma penetração axial e perpendicular às fibras de forma satisfatória, de forma que o preservativo possa atingir as regiões mais centrais das peças, no sentido do seu comprimento.

As amostras de madeira sem vedação das extremidades de todas as espécies/híbridos de eucalipto tiveram penetração de 100% do alburno ou penetração do tipo profunda e regular (Figura 2). Sem a existência de nenhuma barreira física na superfície transversal, a penetração de CCA nessas amostras ocorreu de maneira satisfatória, conforme era esperado. De acordo com Tamblyn (1984) e Silva et al. (2010), as madeiras de *Eucalyptus* spp. apresentam alburno permeável a passagem longitudinal de líquidos, possibilitando o seu tratamento preservativo sem dificuldades.

O fator espécie/híbrido tem efeito significativo sobre os níveis de retenção de CCA, obtendo-se diferentes valores de retenção de CCA entre as espécies e híbridos.

Esperava-se que não houvesse diferença estatística entre as amostras com e sem vedação nas extremidades na madeira de *Corymbia citriodora*, devido à penetração de CCA ter ocorrido em 100% do alburno nas duas amostras; como também se esperava que as amostras sem vedação das extremidades das madeiras dos dois híbridos apresentassem maior retenção, devido à maior penetração de CCA no alburno, o que não ocorreu. No caso da madeira de *Corymbia citriodora*, as amostras eram sempre oriundas de árvores diferentes e propagadas por sementes, possivelmente a variabilidade genética entre os indivíduos foi muito grande, o que pode ter influenciado a retenção obtida. No caso das amostras dos dois híbridos clonais, não houve uma explicação lógica para a maior retenção de CCA nas amostras com vedação das extremidades.

A metodologia adotada nesse trabalho (sem vedação das extremidades com adesivo epóxi) para o tratamento preservativo é a mesma usada pela maioria das empresas brasileiras produtoras de moirões de eucalipto tratados. Essa metodologia permitiu a obtenção de uma retenção mínima de $6,5 \text{ kg.m}^{-3}$ de madeira tratada, conforme NBR 9480 (ABNT, 2009) e NBR 16143 (ABNT, 2013) para as categorias de uso nºs 1 a 4 e um uso na categoria nº 5, especificamente como moirão. Isso confirmou a efetividade dessa metodologia para a produção desses produtos no setor industrial.

Em geral, quanto maior a retenção de preservativos na madeira, mais protegida ela estará contra a ação de organismos xilófagos, conforme relatado por Lebow (2010).

Apesar do atendimento a essas normas, a metodologia do tratamento da madeira utilizado nesse trabalho, com solução de CCA na concentração de 2,0% de ingredientes ativos, os índices de retenção médios obtidos na madeira de eucalipto foram inferiores aos observados por Stevanovic-Janezic et al. (2000), Sales-Campos et al. (2003), Schneid et al. (2013) e Valle et al. (2013); próximos aos observados por Lopes et al. (2017) e superiores aos observados por Amaral et al. (2014). Essa diferença se deve, provavelmente, à diferença de material genético, que pode ter influenciado esses níveis de retenção de CCA. Com isso, observa-se que o fator espécie/híbrido tem efeito significativo sobre os níveis de retenção de CCA, mostrando que diferentes espécies/híbridos de eucalipto podem apresentar diferentes valores de retenção desse preservativo.

CONCLUSÃO

A penetração inicial do preservativo CCA quando ocorrida apenas de forma radial, sem ser pela superfície transversal da madeira, não é suficiente para garantir uma penetração total de todo o alburno nas madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e dos dois híbridos estudados. A penetração inicial de CCA de forma perpendicular na madeira foi eficiente apenas no *Corymbia citriodora*. A ocorrência apenas do fluxo radial inicial de CCA não influencia a obtenção de uma retenção mínima de $6,5 \text{ kg.m}^{-3}$ de madeira tratada em *Eucalyptus cloeziana* e dos dois híbridos estudados, entretanto não possibilita uma penetração de 100% de todo o alburno. Isso faz com que o tratamento preservativo das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e dos dois híbridos, com vedação das extremidades, proporcione um índice de penetração em desacordo com as NBR 9480 (ABNT, 2009) e NBR 16143 (ABNT, 2013). Com isso, a superfície transversal apresenta efeito significativo sobre a penetração de CCA nas madeiras das espécies/híbridos estudadas, exceto para o *Corymbia citriodora* que é mais permeável a penetração desse preservativo, mesmo com a vedação da superfície transversal.

O tratamento preservativo, sem vedação das extremidades, permite obter uma retenção mínima de $6,5 \text{ kg.m}^{-3}$ de madeira tratada e uma penetração de 100% do alburno, do tipo

profunda e regular. Nesse caso, isso possibilita diversos usos da madeira tratada, dentro das categorias de uso nº 1 a 4 e um uso da categoria nº 5 da NBR 16143 (ABNT, 2013), especificamente como moirão e também como moirão tratado em contato direto com o solo conforme NBR 9480 (ABNT, 2009).

O fator espécie/híbrido tem efeito significativo sobre os níveis de retenção de CCA.

■ REFERÊNCIAS

1. AMARAL, L. S.; SILVA, J. R. M.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Influência do diâmetro e umidade no tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 919-925, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000500016>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
2. AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. 2010 **AWPA book of standards**. Birmingham, Alabama, USA, 2010. 576 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação de madeiras** - Sistema de categorias de uso. NBR 16143. Rio de Janeiro, 2013. 19 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Penetração e retenção de preservativos em madeira tratada sob pressão**: ABNT 6232. Rio de Janeiro, 2013. 16 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais** – Requisitos: ABNT 9480. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. 12 p.
6. BRASIL. Lei nº 4.797, de 20 de outubro de 1965. Torna obrigatório pelas empresas concessionárias de serviços públicos, o emprego de madeiras preservadas, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1965. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/l4797.htm>. Acesso em: 12 nov. 2020.
7. HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Preservacion de la madera**. Tradução por Adelardo Sanchis Batalla. Barcelona: Salvat Editores, 1962. 486 p.
8. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2020**. São Paulo: IBÁ, 2020, 122 p. Disponível em <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso 10 nov. 2020.
9. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2019**. São Paulo: IBÁ, 2019, 79 p. Disponível em <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-final.pdf>>. Acesso 11 nov. 2020.
10. LEBOW, S. T. Wood preservation. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison, USA: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p. 15-1; p. 15-28. Disponível em: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2020.
11. LOPES, D. J. V.; PAES, J. B.; JANKOWSKY, I. P.; SEGUNDINHO, P. G. A.; VIDAURRE, G. B. Influências do diâmetro e umidade da madeira na qualidade do tratamento preservativo. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2179-8087.020716>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

12. MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**: métodos de tratamento da madeira. 4 ed. Curitiba, v. 3, 2013, 58 p. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinas/moreschi/METODOS%20DE%20TRATAMENTO.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2020.
13. NICHOLAS, D. D.; SIAU, J. F. Factors influencing the treatability of wood. In: NICHOLAS, D. D. **Wood deterioration and its prevention by preservative treatments**. Syracuse: Syracuse University Press, 2v., p. 299-343. 1973.
14. SALES-CAMPOS, C.; VIANEZ, B. F.; MENDONÇA, M. S. Estudo da variabilidade da retenção do preservante CCA tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae (pau-rainha) uma espécie madeireira da região amazônica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 845-853, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000600011>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
15. SCHNEID, E.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. Avaliação do tratamento sob pressão de postes de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com CCA-C. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 541-547, 2013. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr100/cap11.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
16. SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. Berlim. Heidelberg; New York: Springer-verlag, 1984. 245 p.
17. SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; DEINER, J.; CALIL JUNIOR, C. Permeability measurements of brazilian *Eucalyptus*. **Materials Research**, São Carlos, SP, v. 13, n. 3, p. 281-286, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000300002>>. Acesso em: 12 nov. 2020.
18. STEVANOVIC-JANEZIC, T.; COOPER, P. A.; UNG, Y. T. Chromated copper arsenate preservative treatment of north american hardwoods: Part 1: CCA fixation performance. **Holzforschung**, v. 54, n. 6, p. 577-584, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/HF.2000.098>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
19. TAMBLYN, N. E. Preservation and preserved wood. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production**. Sydney-Australia: Academic Press, 1984. cap. 18, p. 343-356.
20. VALLE, M. L. A.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. E. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 483-492, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/198050989292>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

“

Geometria de resíduos lignocelulósicos e sua relação com as propriedades tecnológicas em compósitos aglomerados

▮ Fabricio Gomes **Gonçalves**
UFES

▮ Yonny Martinez **Lopez**
UFES

▮ Izabella Luzia Silva **Chaves**
UFES

▮ Rafael Gonçalves Espósito de **Oliveira**
UFES

▮ Alice Soares **Brito**
UFES

▮ Félix Queiroz de **Jesus**
UFES

▮ Pedro Gutemberg de Alcântara
Segundinho
UFES

▮ Rhagnya Sharon Ferreira **Martins**

RESUMO

Objetivo: Avaliar o efeito da geometria das partículas de resíduos lignocelulósicos nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos aglomerados. **Métodos:** Foram usados como resíduos lignocelulósicos: fuste de mamoeiro, casca de café, carpelo de noz macadâmia e serragem de eucalipto. Estes foram utilizados três proporções em relação à massa seca de madeira, e combinadas com serragem de eucalipto. Os compósitos foram produzidos por compressão e com adesivo tanino-ureia-formaldeído, com uma relação de 10:90, sendo o tanino de *Acacia mearnsii* diluído em água destilada (50%). Foram produzidos compósitos de aproximadamente 420 × 420 × 12 mm, em camada única, com densidade nominal de 0,70 g/cm³, com base na razão de compactação de 1,30. Determinou-se a densidade dos compósitos e foram avaliadas a resistência à tração perpendicular, módulos na flexão estática e a resistência ao arrancamento de parafuso na superfície. **Resultados:** Os resíduos apresentaram os seguintes intervalos médios para comprimento das partículas: 0,59 a 0,96 cm, perímetro: 1,69 a 2,32 cm e área: 0,08 a 0,20 cm². As densidades reais dos compósitos variaram de 0,58 a 0,73 g/cm³ para uma razão de compactação variando de 1,19 a 1,35. **Conclusão:** A correlação de Pearson não apontou significância ($p \leq 0,05$) entre as características das partículas e a densidade, apenas para os módulos de ruptura e de elasticidade.

Palavras-chave: Tamanho de Partícula, Resíduo Lignocelulósico, Densidade, Propriedades Mecânicas.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por painéis à base de madeira é resultado do baixo custo de produção e da matéria-prima proveniente de plantios homogêneos de eucalipto e pinus, além do crescimento da indústria moveleira e do aumento da população mundial (Sanquetta et al., 2019). De uma certa forma, isso vem impulsionando a busca por outros materiais lignocelulósicos alternativos à madeira (Salari et al., 2013; Rodríguez-Anda et al., 2020). Resíduos madeireiros e da agricultura por apresentarem baixo custo, baixa densidade, boas características tecnológicas, serem biodegradáveis e amplamente disponíveis são utilizados em pesquisas em todo o mundo para a produção de painéis (Alves et al., 2014; Ismail, Edyhama, Wirjosentono, 2002; Laskowska e Maminski, 2018; Martins et al., 2020; Silva et al., 2015).

Na formação dos painéis as partículas são componentes essenciais, elas constituem a parte estrutural do material, juntamente com os adesivos que permitem as ligações entre as partículas. Com isso, dimensionar e utilizar corretamente as partículas em locais onde se adequam melhor na estrutura do painel é importante para um produto final resistente e bem acabado (Irle, Barbu, 2010; Laskowska e Maminski, 2018). Na geometria das partículas, encontram-se características como o índice de esbeltez, que permite relacionar a área de contato entre partículas, também permite avaliar a razão de planicidade, que relaciona o volume de ar relativo do colchão, e a área superficial específica, que está diretamente ligada ao consumo de adesivos (Silva et al., 2015).

De maneira geral, as partículas com dimensões menores, requerem maior consumo de adesivos, pois têm maior área superficial. Sendo que, para painéis com partículas maiores e com a mesma quantidade de adesivo, apresentará maior ligação interna, pois a área superficial é menor, conseqüentemente, maior disponibilidade de adesivo por unidade de área (Martins et al., 2020). Por isso, as partículas pequenas e finas são mais adequadas à camada externa ou superficial, proporcionando assim um bom acabamento, sendo muito demandado pelas indústrias de móveis (Irle e Barbu, 2010).

As propriedades do painel aglomerado são influenciadas pela geometria das partículas que o compõe; sendo assim, a geometria das partículas é um fator considerado e analisado antes do processo de produção das mesmas (Laskowska e Maminski, 2018). O índice de esbeltez das partículas tem efeito diretamente na resistência do painel a os módulos de ruptura e elasticidade, resistência perpendicular à superfície do painel e ligação interna, espessura, inchamento e densidade (Astari, Prasetyo, Suryanegara, 2018).

OBJETIVOS

Investigar o efeito da geometria das partículas de resíduos lignocelulósicos nas propriedades tecnológicas de compósitos aglomerados, tendo em conta a grande relação que existe entre a geometria das partículas e a qualidade dos mesmos. O estudo poderá contribuir com novas alternativas de materiais e consequentemente ao desenvolvimento da indústria de painéis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

As matérias-primas utilizadas para realização do experimento, consistiram em madeira de eucalipto e resíduos lignocelulósicos agrícolas. As partículas de madeira foram obtidas a partir de toras de *Eucalyptus urophylla* × *grandis* (0,56 g/cm³) com sete anos de idade, coletadas em uma propriedade no município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo.

Os resíduos agrícolas utilizados são provenientes de culturas de importância econômica no estado do Espírito Santo. Sendo eles: o caule de mamoeiro e carpelo de noz macadâmia provenientes de propriedades produtoras de mamão papaya (*Carica papaya* - 0,19 g/cm³) e noqueira macadâmia (*Macadamia integrifolia* - 0,29 g/cm³) localizadas no município de São Mateus, norte do estado do Espírito Santo; e a casca de café, de uma propriedade produtora de café arábica (*Coffea arabica* - 0,35 g/cm³) localizada no município de Dorcas do Rio Preto, sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1). Os resíduos foram processados em um moinho de martelo, com peneira de 8mm e após peneiradas, sendo utilizadas as partículas que passaram por peneira de 4mm e ficaram retidas em peneira de malha 2mm.

Figura 1. Resíduos lignocelulósicos agroindustriais utilizados. A – serragem de eucalipto, B – fuste de mamoeiro, C – carpelo de noz macadâmia, D – casca de café arábica.



Fonte: os autores

Para determinar o peso das partículas utilizadas e obter a densidade do painel de partículas em cada proporção, visando uma taxa de compactação de 1,3, foram utilizadas as densidades aparentes de cada material a partir das Equações 1 e 2.

$$\text{Controle} \rightarrow D_{p(100\%eucalipto)} = 1.3 \cdot D_{ec} \quad (1)$$

$$D_{p(\text{res duo\%})} = 1.3 * \left[\left(\frac{D_{ec} * w}{100} \right) + \left(\frac{D_{lr} * z}{100} \right) \right] \quad (2)$$

Em que D_p é a densidade do painel (g/cm^3), D_{ec} é a densidade da madeira de eucalipto (g/cm^3), D_{lr} é a densidade do resíduo lignocelulósico (g/cm^3) (fuste de mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e casca de café), Z é a proporção do resíduo lignocelulósico, W é a proporção de serragem de madeira de eucalipto.

Formação dos compósitos

Os compósitos foram produzidos com adesivo tanino-ureia-formaldeído (TUF), com uma relação de 10:90, sendo o tanino de *Acacia mearnsii* (50% diluído em água destilada). O adesivo possuía as seguintes características: densidade = $1,40 \text{ g/cm}^3$, pH = 5,0, viscosidade = 2068 mPa.s, teor de sólidos = 78%, tempo de gel = 91 seg. A massa de partículas foi calculada com base em sua densidade aparente e na proporção definida em cada tratamento, sendo as partículas de eucalipto substituídas pelo resíduo lignocelulósico em 10%, 20% e 30% (Tabela 1).

Tabela 1. Composição, densidade aparente e razão de compactação média dos compósitos utilizados, com base no resíduo lignocelulósico. Fonte: Martins (2016).

Tratamento	Eucalipto (%)	Fuste de mamoeiro (%)	Carpelo de macadâmia (%)	Casca de café (%)
T1 - Controle	100	-	-	-
T2	90	10	-	-
T3	80	20	-	-
T4	70	30	-	-
T5	90	-	10	-
T6	80	-	20	-
T7	70	-	30	-
T8	90	-	-	10
T9	80	-	-	20
T10	70	-	-	30

Os compósitos foram confeccionados em laboratório utilizando uma prensa automática de pratos planos aquecidos (SOLAB model SL 12, Piracicaba, Brasil). Foram produzidos três painéis para cada um dos tratamentos com um tempo de prensagem de 10 min., uma temperatura de prensagem de 160°C e uma prensagem de 40 kgf/cm^2 .

Obtenção das propriedades física e mecânica

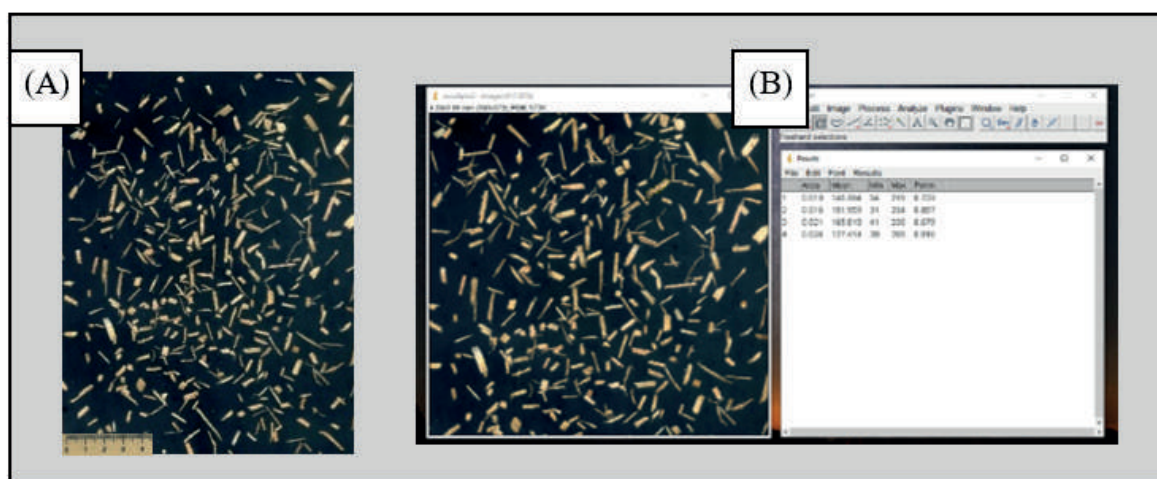
A densidade dos compósitos foi realizada mediante relação da massa dos corpos de prova pelas dimensões do mesmo (comprimento $\times$ largura $\times$ espessura) com uso de um paquímetro, após estabilização em ambiente controlado (65% de umidade e 25 °C).

Os ensaios mecânicos foram realizados com base na Norma Brasileira Regulamentadora 14810-2 (ABNT, 2018), sendo o ensaio de tração perpendicular (ligação interna) obtido em corpos-de-prova de 50 mm $\times$ 50 mm $\times$ 12,7 mm, a flexão estática (Módulos de Ruptura – MOR e Elasticidade – MOE) obtida em corpos-de-prova de 50 mm $\times$ 250 mm e a resistência ao arrancamento de parafuso na superfície em corpos-de-prova de 150 mm $\times$ 75 mm $\times$ 25,4 mm. As propriedades mecânicas foram realizadas em máquina universal de ensaio (EMIC model DL 10000 N/S 8622, São José dos Pinhais, Brasil).

Obtenção da área, perímetro e comprimento das partículas

Foram selecionadas 1 grama de partículas puras e nas respectivas composições (Tabela 1), as quais foram distribuídas em um scanner para obtenção da imagem (.jpeg) com resolução de 12 Mb (Figura 2). Com o uso do software livre *ImageJ* (Ferreira e Rasband, 2006) as imagens foram então convertidas para a extensão .tif. Após, as partículas foram então mensuradas obtendo-se o comprimento (mm), o perímetro e a área (mm²) de 200 partículas em cada um dos 10 tratamentos.

Figura 2. Mensuração das partículas por meio do *software* livre *ImageJ*. A: Imagem obtida em scanner de alta resolução; B: Procedimento de obtenção da área, perímetro e comprimento das partículas.



Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa estatístico Excel ®. Sendo verificada a análise de variância através do teste F ao nível de 5% de probabilidade. Os dados

foram submetidos a análise estatística descritiva (média e desvio padrão) bem como uma análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) visando o entendimento das relações entre as variáveis estudadas. Foi ainda realizado o teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) entre as composições e o controle produzido exclusivamente com madeira de eucalipto para a densidade dos compósitos.

RESULTADOS

Os valores médios das dimensões das partículas das diferentes matérias-primas utilizadas na fabricação dos compósitos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios obtidos para as características da matéria-prima utilizada na confecção dos compósitos encolados com o adesivo tanino-ureia-formaldeído (TUF).

Composição		A [#]	P	C
100 % Eucalipto - Controle		0,20 ^{0,08}	2,32 ^{0,63}	0,96 ^{0,36}
Fuste de mamoeiro	10 %	0,11 ^{0,08}	1,83 ^{0,84}	0,78 ^{0,38}
	20 %	0,10 ^{0,07}	1,88 ^{0,81}	0,71 ^{0,37}
	30 %	0,08 ^{0,06}	1,72 ^{0,67}	0,74 ^{0,31}
Carpelo de noz macadâmia	10 %	0,11 ^{0,07}	1,75 ^{0,65}	0,72 ^{0,29}
	20 %	0,12 ^{0,07}	1,75 ^{0,63}	0,65 ^{0,29}
	30 %	0,12 ^{0,07}	1,69 ^{0,61}	0,59 ^{0,29}
Casca de café	10 %	0,13 ^{0,07}	1,80 ^{0,65}	0,72 ^{0,31}
	20 %	0,14 ^{0,07}	1,89 ^{0,55}	0,75 ^{0,29}
	30 %	0,16 ^{0,09}	1,93 ^{0,59}	0,74 ^{0,27}

[#] A: Área das partículas (cm²); P: Perímetro das partículas (cm); C: Comprimento das partículas (cm); Valor sobrescrito é o desvio padrão

Os dados referentes a densidade aparente média dos compósitos nas diferentes composições e as razões de compactação médias estão apresentadas na Tabela 3, com os respectivos desvios padrões.

Tabela 3. Valores médios obtidos para a densidade aparente e razão de compactação nos compósitos produzidos com diferentes matérias-primas encolados com o adesivo tanino-ureia-formaldeído (TUF).

Composição		Densidade aparente planejada ** (g/cm ³)	Densidade aparente real (g/cm ³) [#]	Razão de compactação obtida
100 % Eucalipto - Controle		0,73	0,67 ^{0,06}	1,19 ^{0,11}
Fuste de mamoeiro	10 %	0,68	0,70 ^{0,06} ns	1,33 ^{0,11}
	20 %	0,63	0,64 ^{0,03} *	1,32 ^{0,07}
	30 %	0,58	0,61 ^{0,05} ns	1,35 ^{0,12}
Carpelo de noz macadâmia	10 %	0,69	0,69 ^{0,04} ns	1,30 ^{0,08}
	20 %	0,66	0,66 ^{0,04} ns	1,31 ^{0,08}
	30 %	0,62	0,63 ^{0,04} ns	1,30 ^{0,08}
Casca de café	10 %	0,70	0,64 ^{0,07} ns	1,19 ^{0,12}
	20 %	0,67	0,67 ^{0,06} ns	1,29 ^{0,11}
	30 %	0,65	0,64 ^{0,05} ns	1,30 ^{0,10}

Valor sobrescrito é o desvio padrão. * Difere estatisticamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); ns Não difere estatisticamente do tratamento controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). ** Valores obtidos com base nas equações 1 e 2. **Fonte:** Martins (2016).

Na tabela 4 estão representados os valores médios obtidos para cada uma das propriedades mecânicas estudadas. Foram considerados todos os compósitos desenvolvidos na pesquisa, os quais foram encolados com o adesivo tanino-ureia-formaldeído (TUF) para os diferentes resíduos lignocelulósicos.

Tabela 4. Valores médios obtidos para as propriedades mecânicas estudadas.

Composição		LI (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	AP (N)
100 % Eucalipto - Controle		0,83 ^{0,12}	10,46 ^{1,99}	1412 ²⁹⁶	796,38 ^{78,7}
Fuste de mamoeiro	10 %	0,50 ^{0,13}	8,48 ^{1,64}	1147,88 ¹⁸²	642,72 ^{95,6}
	20 %	0,52 ^{0,11}	6,45 ^{1,07}	1163,30 ¹⁴⁶	502,77 ^{55,3}
	30 %	0,39 ^{0,09}	6,21 ^{1,46}	922,14 ¹⁹⁴	378,60 ^{83,2}
Carpelo de noz macadâmia	10 %	0,57 ^{0,12}	8,25 ^{1,68}	1091,09 ²¹¹	701,52 ^{61,3}
	20 %	0,49 ^{0,11}	6,59 ^{1,33}	885,69 ¹⁹⁷	601,37 ^{93,6}
	30 %	0,56 ^{0,10}	4,96 ^{1,18}	686,53 ¹⁴⁷	455,43 ^{23,5}
Casca de café	10 %	0,38 ^{0,11}	6,28 ^{1,79}	979,75 ²⁷³	476,48 ^{89,6}
	20 %	0,35 ^{0,09}	6,49 ^{1,51}	994,15 ²⁰²	463,97 ^{66,0}
	30 %	0,28 ^{0,06}	4,84 ^{1,37}	783,26 ²³⁰	412,47 ^{87,5}

LI: Ligação Interna (MPa); MOR: Módulo de Ruptura (MPa); MOE: Módulo de Elasticidade (MPa); AP: Arrancamento de parafuso na superfície (N). Valor sobrescrito é o desvio padrão.

Fonte: Martins (2006)

Os valores dos coeficientes de correlação de Pearson para as características das matérias-primas e as propriedades mecânicas bem como a densidade dos compósitos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Correlação de Pearson com base na média das características avaliadas dos compósitos.

	A [#]	P	C	D	LI	MOR	MOE	AP
A	1							
P	0,8682*	1						
C	0,6606*	0,8910*	1					
D	0,3155 ^{ns}	0,2884 ^{ns}	0,3592 ^{ns}	1				
LI	0,3870 ^{ns}	0,5469 ^{ns}	0,4899 ^{ns}	0,3397 ^{ns}	1			
MOR	0,3934 ^{ns}	0,6329*	0,7874*	0,6680*	0,7671*	1		
MOE	0,3647 ^{ns}	0,7098*	0,8206*	0,5317 ^{ns}	0,6547*	0,9068*	1	
AP	0,4319 ^{ns}	0,5325 ^{ns}	0,5647 ^{ns}	0,7727*	0,8183*	0,9070*	0,7468*	1

[#] A: Área das partículas (cm²); P: Perímetro das partículas (cm); C: Comprimento das partículas (cm); D: Densidade aparente dos compósitos (g/cm³); LI: Ligação Interna (MPa); MOR: Módulo de Ruptura (MPa); MOE: Módulo de Elasticidade (MPa); AP: Arrancamento de parafuso na superfície (N). * significativo ($p \leq 0,05$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$)

DISCUSSÃO

As características das partículas utilizadas na formação dos painéis apresentaram-se de forma homogênea, independente da composição e do tipo, como observados nos valores médios e pelos desvios padrões (Tabela 2). A área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas e o consumo de adesivo são características vitais ligadas diretamente a geometria das partículas. As dimensões das partículas influenciam a resistência e rigidez à flexão, a resistência à tração paralela e perpendicular à superfície, a resistência ao arrancamento de parafusos e pregos e também a absorção de água e de outros líquidos, que causam alteração na estabilidade dimensional e modificações superficiais nos painéis.

Também, a geometria e a quantidade de partículas, seja na camada externa ou no miolo do painel contribui para alterações significativas nas propriedades dos painéis, sobretudo nas mecânicas, como na resistência nos módulos de elasticidade e de ruptura, como apontado em trabalho realizado com diferentes formas de partículas provenientes e distribuição no colchão. Muitas propriedades físicas e mecânicas dos painéis também são atribuídas ao índice de esbeltez das partículas, ele exerce influência sobre a qualidade de acabamento e a usinabilidade dos painéis (Benthien e Ohlmeyer, 2020).

A densidade aparente não foi afetada pelas diferentes porcentagens de tipos e resíduos utilizados na formação dos compósitos (Tabela 3), com valores variando de 0,58 g/cm³ a 0,73 g/cm³. Valores próximos foram encontrados em trabalho realizado com painel produzido

com resíduo de cacau (Veloso et al., 2020). A densidade observada em todos compósitos ficou no intervalo estabelecida pela norma A.208-1 (ANSI, 1999) para compósitos de média densidade (0,64 a 0,80 g/cm³), com pequenas exceções segundo foi demonstrado na tabela 3.

Essas condições indicam que a forma e o tipo de particulado contribuiu para este parâmetro de qualidade. Melhorias neste sentido, pode ser alcançada alterando algumas variáveis no processo, como a quantidade de adesivo, padronizar a umidade das partículas e o uso de alguns tipos de nano materiais como por exemplo a sílica (SiO₂) (Ayinde, Riki e Oluwadare, 2020; Valle et al., 2020).

Segundo estudos realizados por Protásio et al. (2011), a densidade a granel não moída da casca de café pode influenciar em baixas densidades, enquanto este resíduo moído pode proporcionar aumentos de densidade em até 50% superior. No presente estudo verificou-se que a densidade da casca de café foi de 0,65 g/cm³ aproximadamente. A casca de café após o processamento do fruto pode conter restos de pergaminho, fator atribuído ao caráter residual dessa biomassa.

Outros autores também atribuem para essa redução nos valores de densidade nos compósitos, como a perda de partículas e aditivos no processo de formação e ainda ao retorno da espessura dos mesmos após sua retirada da prensa quente. Além disso, se considera que uma madeira com massa específica muito baixa implica em inclusão de maior volume de partículas no processo, que por consequência, reduz a quantidade de resina disponível (Bazzetto, Bortoletto Junior e Brito, 2019).

Mirski, Dziurka e Banaszak (2018) produziram painéis utilizando diferentes proporções de resíduos lignocelulósicos em substituição parcial ou total de partículas da madeira do ao pinheiro *Pinus sylvestris*. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que todos os painéis experimentais produzidos apresentaram maior estabilidade dimensional quando comparado aos painéis controle (pinheiro). Segundo os autores tais resíduos possuem uma hidrofobicidade naturalmente maior.

Neste sentido, as dimensões das partículas devem ser controladas no processo produtivo a fim de se obter produtos homogêneos. Industrialmente, são utilizadas partículas de dimensões maiores na camada interna e partículas menores, ou finos, na camada externa. A utilização de finos na superfície dos painéis objetiva conferir ao painel melhor acabamento superficial, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimento (Guimarães Junior et al., 2017).

Por outro lado, um elevado percentual de finos pode aumentar o consumo de resina e consequentemente prejudicar a qualidade dos painéis, reduzindo a adesão interna entre as camadas interna e externa do painel. Tendo em conta essas condições, no processo tecnológico dos painéis, se for alterada a geometria das partículas é necessário ajustar outras

variáveis, bem como a quantidade de adesivo, sendo que ele pode influenciar na transferência de calor através da espessura do painel submetido à prensagem (Medved et al., 2020).

A razão de compactação é a relação existente entre a massa específica do painel e do material utilizado. Esta razão apresenta o grau de densificação do painel. O material usado seja madeira ou materiais lignocelulósicos para obter boa razão de compactação deve ser de baixa densidade. O valor adequado da razão de compactação para a produção de painel particulado encontra-se na faixa de 1.3 a 1.6, por isso materiais de menor densidade são as mais recomendadas (Wechsler et al., 2013).

Os painéis particulados com uma razão de compressão acima de 1.6 oferecem melhorias nas propriedades tecnológicas de resistência mecânica, no entanto, para algumas propriedades físicas como o inchamento em espessura será maior, pelo fato da compressão existente sobre o painel na fase de prensagem (Naumann et al., 2008).

Por outro lado, estudos realizados por Negri (2013), inferem que o aumento da pressão de prensagem faz com que o inchamento e absorção de água diminuam, uma vez que reduz os espaços vazios do painel, dificultando a entrada de água e aumentando a área superficial de contato entre partículas, o que proporciona interação mais eficiente entre a matéria-prima e adesivo, melhorando assim as suas propriedades mecânicas.

Algumas variáveis de processamento na umidade de equilíbrio de painéis particulados são afetadas pela temperatura de prensagem e pela interação entre a temperatura, tempo de prensagem e a pressão específica (Mendes et al., 2009). A retenção de água nos painéis também é influenciada de forma significativa pelo teor de adesivo, pela temperatura e pelo tempo de prensagem das partículas quando na formação do painel aglomerado (Silva et al., 2006).

As propriedades de painéis aglomerados produzidos com partículas de eucalipto em associação com cavacos na presença de casca foram estudadas por Soratto et al. (2013). Os resultados experimentais demonstraram que o teor de cavaco com casca na produção dos painéis aglomerados não contribuiu para modificar significativamente as propriedades físicas e mecânicas analisadas, exceto para absorção e inchamento.

O resultado demonstrou-se satisfatório, logo, significa que o resíduo industrial pode ser adicionado no processo fabril para a produção de painéis, sem alterar de forma significativa os mesmos. Para melhores resultados, os autores sugerem a utilização de um maior teor de adesivo, ou um aumento na pressão de prensagem.

A resistência mecânica dos painéis é afetada pela geometria das partículas, tais como ligação interna, módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e arrancamento e parafuso. Estas diferenças podem estar relacionadas aos comprimentos das partículas, tendo em conta que comprimentos muito grandes podem gerar problemas na secagem,

aplicação de adesivo, e formação do colchão, pois se tornam volumosas, entopem equipamentos, dificultam o transporte do material.

De acordo com a Tabela 4 os resultados obtidos no ensaio mecânico de tração perpendicular (LI) permitem concluir que praticamente apenas o uso da casca de café não atingiu o mínimo estabelecido pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018), que é de 0,40 MPa. Para os módulos obtidos na flexão estática (MOR e MOE), nenhum dos compostos produzidos com os resíduos lignocelulósicos encolados com tanino-ureia-formaldeído atingiram o mínimo estipulado pela norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018), que são, respectivamente, 11 MPa e 1800 MPa.

Para o ensaio de arrancamento de parafusos, a NBR 14810-2 (ABNT, 2018) não apresenta valor de referência. Desta forma, utilizou-se a norma ANSI A 208.1 (ANSI, 1999) a qual recomenda valores acima de 900 N para painéis de média densidade. Nenhum dos compósitos produzidos atingiu ao especificado.

As propriedades desejadas do painel podem ser afetadas por vários fatores de fabricação incluindo a matéria-prima de que é feito, além do tamanho e a forma da partícula da matéria-prima (geometria), sendo um dos mais importantes fatores que pode determinar a qualidade dos painéis, juntamente com a orientação das partículas. Tais fatores podem conferir propriedades bastante interessantes ao painel, tanto em resistência quanto em acabamento e design.

Conforme a norma ANSI A 208.1 (1999), os painéis de partículas de baixa massa específica (menor que $0,64\text{g/cm}^3$) e de média massa específica (entre $0,64$ e $0,80\text{ g/ cm}^3$), admitem como valores mínimos 3 MPa e 11 MPa, respectivamente, para módulo de ruptura. Para módulo de elasticidade os valores mínimos exigidos são 550 MPa e 1725 MPa, respectivamente. Apenas os painéis de baixa densidade estão em conformidade com essa norma para a propriedade MOR e MOE.

A tendência de decréscimo dos valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade, à medida que se aumentou a porcentagem de resíduos provavelmente foi decorrente do tipo e geometria das diferentes partículas. A baixa densidade da matéria-prima implica em maior volume de material para formação do painel, reduzindo assim a quantidade de adesivo por partícula (Silva et al., 2015).

Os painéis que exibiram maior MOR e MOE foram aqueles que apresentaram densidades mais elevadas. Maior massa específica em painéis aglomerados implica em maior quantidade de partículas por unidade de volume, o que proporciona maior resistência mecânica (Iwakiri et al., 2005).

Os painéis aglomerados com melhor desempenho para a propriedade resistência ao arrancamento de parafuso são os que apresentaram maiores valores médios de densidade aparente. A influência da massa específica nas propriedades físico mecânicas de chapas aglomeradas confeccionadas com partículas de *Eucalyptus grandis* em três densidades

(0,60, 0,70 e 0,80 g/cm³) foi observada por Melo e Del Menezzi (2010), os quais verificaram altas correlações entre a massa específica e a resistência mecânica das chapas. Os autores constataram que os valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso variaram de 710N a 966N.

A norma ANSI A-208.1 (1999), fixa valores médios de 900 N para resistência na superfície e 800 N no topo. Para painéis de baixa densidade essas normas requerem um valor mínimo de 400 N, padrão no qual se enquadraram os painéis compostos por 20% e 30% de caule de mamoeiro, e 30% de carpelo de noz macadâmia.

Os valores de correlação encontrados para as características observadas são destaques aquelas significativas ($p \leq 0,05$), as quais corroboram as informações apresentadas anteriormente, sobretudo o comprimento e o perímetro das mesmas. Essas características apresentaram uma correlação moderada a forte com os módulos de ruptura e de elasticidade (Dancey e Reidy, 2006), indicando realmente sua influência nas mesmas.

A correlação não apontou relação significativa entre as características das matérias-primas com a densidade e as demais propriedades mecânicas ($p \geq 0,05$). Ao contrário do apontado por outros autores que afirmam essa relação (Benthien et al., 2017; Benthien, Lüdtke e Ohlmeyer, 2019), principalmente em relação à seleção da matéria-prima, dimensão e forma das partículas e a estrutura da formação do colchão.

CONCLUSÃO

Como materiais renováveis, a utilização dos resíduos de caule de mamoeiro, carpelo de noz macadâmia e casca de café pode minimizar a disposição destes em aterros e aumentar a proteção do meio ambiente, além de possibilitar agregar valor aos painéis industriais. A melhoria das propriedades pode ser alcançada modificando alguns parâmetros de produção, uma vez que o adesivo tanino-ureia-formaldeído não possibilitou resultados satisfatórios.

A disponibilidade destes resíduos para atendimento em volume na indústria de painéis ainda é baixa e concentrada em algumas regiões do país, no entanto, possibilitaria a fixação do carbono nos painéis produzidos, contribuindo para redução da problemática de emissão de gases para a atmosfera. Isso também favorece a sustentabilidade das florestas e dos demais recursos ambientes, minimizando a dependência de matéria-prima tradicional como pinus e eucalipto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos produtores rurais, Clóvis Eduardo Nunes Hegedus, Ítalo Santos Bonomo, Edvaldo Permhane e Valmir Caetano Gonçalves, pela doação das

matérias-primas utilizadas. Agradecem também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo número 441461/2014-0), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Code 001), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - FAPES (Processo número 76440974/2016), e à Empresa Suzano pelo suporte financeiro no desenvolvimento das atividades.

■ REFERÊNCIAS

1. RODRÍGUEZ-ANDA, R.; GARCÍA-ENRIQUEZ, S.; LOMELÍ-RAMÍREZ, M. G.; FUENTES-TALLAVERA, F. J.; SILVA-GUZMÁN, J. A.; TORRES-RENDÓN, J.G. Composite based on recycled high-density polyethylene-sugarcane bagasse-tire rubber waste: formulation, mechanical and workability evaluation. **Interciencia Journal**, v. 45, n. 9, p. 79-103, 2020.
2. ALVES, L. S.; SILVA, S. A. M.; AZAMBUJA, M. A.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Particleboard produced with sawmill waste of different wood species. **Advanced Materials Research**, v. 884-885, p. 689–693, 2014. Doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.884-885.689>
3. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1. Mat-formed wood particle-board - Specification**. Gaithersburg: Composite Panel Associatio's, 1999.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 14810-2. Painéis de partículas de média densidade**. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.
5. ASTARI, L; PRASETIYO, K. W; SURYANEGARA, L. Properties of particleboard made from wood waste with various size. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 166, p. 012004, jun. 2018. Doi: <http://doi.org/10.1088/1755-1315/166/1/012004>
6. AYINDE, M. O.; RIKI, T. B.; OLUWADARE, A. O. Effects os particle sizes and mixing ratios on physical and mechanical properties of particle boards produced from Gmelina aroboreos using modified cassava starch. **International Journal of Current Science and Engineering**, v. 2, n. 3, p. 336–342, 2020.
7. BAZZETTO, J. T.. L.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; BRITO, F. M. S. Effect of particle size on bamboo particle board properties. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, e20170125 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.012517>
8. BENTHIEN, J. T.; LÜDTKE, J.; OHLMEYER, M. Effect of increasing core layer particle thickness on lightweight particleboard properties. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 77, n. 6, p. 1029–1043, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01452-5>
9. BENTHIEN, J. T.; OHLMEYER, M. Effects of flat-shaped face layer particles and core layer particles of intentionally greater thickness on the properties of wood-reduced particleboard. **Fibers**, v. 8, n. 7, p. 46, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/fib8070046>
10. BENTHIEN, J. t.; SOMMERHUBER, P. F.; HERLDER, S.; OHLMEYER, M.; SEPPKE, M.; KRAUSE, A. Influence of material origin on the size distribution of wood particles for wood-plastic composite (WPC) manufacture. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, n. 3, p. 477–480, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1122-2>

11. DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. 12. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2006.
12. FERREIRA, T.; RASBAND, W. **ImageJ: Image Processing and Analysis in Java**. Disponível em: <<http://rsb.info.nih.gov/ij/docs/index.html>>. Acesso em: 25 ago. 2020.
13. GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; XAVIER, M. M.; SANTOS, T. S.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 435, 2017. Doi: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1036>
14. IRLE, M.; BARBU, M. C. Wood-Based Panel Technology. In: THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. (Org.). **Wood-Based Panels An Introd. Spec.** England: Brunel University Press, 2010. p. 1–94.
15. ISMAIL, H.; EDYHAMA, M. R.; WIRJOSENTONO, B. Bamboo fibre filled natural rubber composites: the effects of filler loading and bonding agent. **Polymer Testing**, v. 21, n. 2, p. 139–144, 2002. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(01\)00060-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(01)00060-5)
16. IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 323–328, 2005.
17. LASKOWSKA, A.; MAMIŃSKI, M. Properties of particleboard produced from post-industrial UF- and PF-bonded plywood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 76, n. 2, p. 427–435, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1266-8>
18. MARTINS, R. S. F. **Caracterização de painéis aglomerados produzidos com madeira de eucalipto e resíduos lignocelulósicos agroindustriais**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.
19. MARTINS, R. S. F.; GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; SEGUNDINHO, P. G. A.; NUNES, A. M.; VIDAURRE, G. B.; CHAVES, I. L. S.; SANTIAGO, S. B. Physical properties and formaldehyde emission in particleboards of *Eucalyptus* sp. and ligno-cellulosic agro-industrial waste. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. e-2926, 2020. Doi: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.13>
20. MEDVED, S.; JAMBREKOVIC, V.; TUDOR, E. M.; BARBU, M. C. Creep behaviour of particle-based panels and its relation towards density profile. **Pro Ligno**, v. 16, n. 2, p. 11–17, 2020.
21. MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v. 18, n. 1, p. 59–73, 2010.
22. MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; SANTOS, R. C.; BUFALINO, L. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane bagasse generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 209–218.
23. MIRSKI, R.; DZIURKA, D.; BANASZAK, A. Properties of Particleboards Produced from Various Lignocellulosic Particles. **BioResources**, v. 13, n. 4, p. 7758–7765, 2018. Doi: <http://doi.org/10.15376/biores.13.4.7758-7765>

24. NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; DELLA LUCIA, R. M.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Arvore**, v. 32, n. 6, p. 1143–1150, 2008.
25. NEGRI, D. C. **Análise das propriedades físico-mecânicas de painel particulado de eucalipto composto por três camadas com duas variações de pressão**. 2013. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2013.
26. PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011. Doi: <http://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.273>
27. SALARI, A.; TABARSA, T.; KHAZAEIAN, A.; SARAEIAN, A. Improving some of applied properties of oriented strand board (OSB) made from underutilized low quality paulownia (*Paulownia fortunei*) wood employing nano-SiO₂. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 1–9, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.010>
28. SANQUETTA, C. R.; SANTANA, G. M.; SANQUETTA, M. N. I.; OLIVEIRA, T. W. G.; CORTE, A. P. D. Produção, importação, exportação e consumo aparente de painéis de madeira 1961 e 2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 44–49, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.66112>
29. SILVA, D. W.; FARRAPO, C. L.; RIBEIRO, D. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; SCOLFORO, J. R. S. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 853–862, 2015.
30. SILVA, G. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, F. A.; SANTOS, I. F.; PÁDUA, F. A. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 51–60, 2006. Doi: <https://doi.org/10.5902/198050981887>
31. SORATTO, D. N.; CUNHA, A. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; COSTA F. R. Efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP produzidos com *Eucalyptus* sp. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 46–59, 2013.
32. VALLE, A. C. M.; FERREIRA, B. S.; PRATES, G. A.; GOVEIA, D.; CAMPOS, C. I. Physical and mechanical properties of particleboard from *Eucalyptus grandis* produced by urea formaldehyde resin with SiO₂ nanoparticles. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 3, p. 289–293, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n3p289-293/2020>
33. VELOSO, M. C. R. A.; PIRES, M. R.; VILLELA, L. S.; SCATOLINO, M. V.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. **Waste Management**, v. 118, p. 36–44, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.019>
34. WECHSLER, A.; ZAHARIA, M.; CROSKY, A.; JONES, H.; RAMÍREZ, M.; BALLERINI, A.; NUÑEZ M.; SAHAJWALLA, V. Macadamia (*Macadamia integrifolia*) shell and castor (*Ricinus communis*) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard. **Materials and Design**, v. 50, p. 117–123, 2013.

“

Nanopartículas de lignina e seus efeitos nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído para colagem de madeira

▮ Thamirys Andrade **Lopes**
UFV

▮ Nayara Franzini **Lopes**
UFV

▮ Gabriel Reis **Portilho**
UFV

▮ Frances Alves **Andrade**
UFV

▮ Luana Bertolini de Jesus **Silva**
UFV

▮ Renato Vinícius Oliveira **Castro**
UFSJ

▮ Gustavo Henrique Denzin **Tonoli**
UFLA

▮ Angélica de Cássia Oliveira **Carneiro**
UFV

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi produzir e caracterizar a nanolignina kraft de pinus e eucalipto e seus efeitos nas propriedades de adesivo ureia-formaldeído comercial para colagem de madeira, tendo como objetivos específicos: avaliar o efeito do número de passagens da suspensão de lignina kraft no moinho Super Masscolloider Masuko Sangyo para obtenção das nanopartículas; caracterizar as nanoligninas e avaliar o efeito da adição destas nas propriedades de adesivos ureia-formaldeído para colagem de juntas de madeira. As nanoligninas foram produzidas a partir da lignina kraft, de pinus e eucalipto, por meio de dois níveis de passagens pelo moinho, sendo 5 e 10 passes. A caracterização das partículas e nanopartículas de lignina kraft foi realizada a partir da técnica de microscopia eletrônica de varredura e de transmissão, determinação de lignina solúvel, insolúvel e o teor de cinzas. A modificação do adesivo comercial de ureia-formaldeído foi feita adicionando-se 0,5; 1; 1,5 e 2% de nanoligninas kraft em solução (5% m/v), em relação ao seu teor de sólidos. Os adesivos foram caracterizados quanto ao teor de sólidos, pH, viscosidade, gel-time e tempo de trabalho. O desempenho dos adesivos foi avaliado por meio do ensaio de resistência ao cisalhamento, na linha de cola, nas condições seco e úmido. As nanopartículas, em geral, se apresentaram em aglomerados com dimensões em torno de 200 nm e estrutura química e composição elementar não foram afetadas pelo método mecânico de obtenção. Em relação às propriedades adesivas, a adição de nanolignina kraft de pinus e eucalipto ao adesivo reduziu os valores de viscosidade, chegando a 6,67 cP, e os valores de teor de sólidos, que chegou a 40% para adesivos modificados com de 2% de nanolignina para ambas espécies. Já o tempo de trabalho aumentou em aproximadamente 100% com a adição de 0,5 para 2% de nanolignina. A adição de nanoligninas ao adesivo ureia-formaldeído ocasionou redução da resistência ao cisalhamento das juntas coladas, na condição seca e úmida, devido ao excesso de água presente nas suspensões, que pode ter atrapalhado as reações de polimerização dos adesivos. Sendo assim, verifica-se que as nanoligninas podem ter atuado como carga nos adesivos e recomenda-se a secagem das suspensões para obtenção e aplicação das nanoligninas em pó.

Palavras-chave: Nanotecnologia, Pinus, Eucalipto, Viscosidade.

INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2020), em 2019 as indústrias brasileiras de celulose e papel produziram aproximadamente 22,8 milhões de toneladas de licor negro e, a principal forma de aproveitamento desse licor, tem sido por meio da sua queima, por ser rico em lignina, que são compostos majoritariamente formado por carbono, possuindo alto poder calorífico.

Porém, a quantidade de licor produzida pelo processo de polpação têm sido maior do que a quantidade de caldeiras disponíveis para queima, fazendo-se necessário dar uma destinação correta e até rentável, que tem sido feito por meio da instalação de biorrefinarias nas plantas industriais para extração de lignina, produção de etanol, metanol, biogás, gás de síntese, entre outros produtos (NALI, RIBEIRO, HORA, 2016) .

Aliado a esses fatos, a produção de painéis de madeira reconstituída é crescente, tendo o Brasil uma produção de 8,2 milhões de m³ no ano de 2018, estando entre os dez maiores produtores mundiais (IBÁ, 2020). Esse aumento implica em um maior consumo de adesivos, sendo a ureia-formaldeído o principal aglutinante utilizado para a fabricação de painéis na indústria moveleira. No entanto, é obtido de fonte não renovável, emite formaldeído em condições de alta umidade relativa e possui baixa resistência à umidade (FERREIRA, 2017).

Depois de polimerizados, os adesivos de ureia-formaldeído podem ser hidrolisados se em contato com água ou condições de alta umidade relativa, em função da sua estrutura molecular, devido à deterioração de suas ligações aminometilênica, ou seja, entre o nitrogênio da molécula de ureia e o carbono da ligações de metileno, especialmente à altas temperaturas. É durante essa hidrólise que o formaldeído é liberado (MYERS, 1981).

Como consequência, muitos estudos relacionados com a emissão de formaldeído, vem sendo desenvolvidos na tentativa de minimizá-la, uma vez que as normas e as legislações vêm exigindo limites de emissão cada vez mais baixos, por ser considerada uma substância tóxica à seres humanos em altas concentrações e cancerígena em baixas concentrações por longos períodos de tempo (KHODER et al., 2000; KIM et al., 2006).

Em pesquisas relacionadas à adesivos para colagem de madeira, seja ela sólida ou no formato de partículas/fibras para produção de painéis, o uso de nanofibras/nanopartículas oriundas de diversas fontes, vem sendo alvos de muitos estudos na tentativa de reduzir ou até mesmos sanar esses problemas existentes com o adesivo ureia-formaldeído. Como resultados, foram verificados em alguns desses estudos, a diminuição da emissão de formaldeído, melhoria no desempenho de colagem como redução de fissuras presentes na linha de cola e aumento na resistência ao cisalhamento, redução do tempo de cura, menor absorção de água, dentre outras, utilizando principalmente nanofibras e nanocristais de celulose (MESQUITA et al., 2018; KHANJANZADEH et al., 2019; HAFEZ; TAJVIDI, 2020), nanoargilas (REIS, 2018; ISMITA et al., 2019), nanosílica (BARDAK et al., 2018; DJIPOROVIC-MOMČILOVIC

et al., 2018), e até mesmo nanolignina em adesivos de fenol-formaldeído (CHEN et al., 2019; YANG et al., 2019), porém em adesivos de fenol-formaldeído.

O desenvolvimento da nanolignina tem vantagens importantes, tais como melhorar sua incorporação e dispersão em polímeros e apresentar maior atividade antioxidante, devido ao aumento da área superficial, quando comparada à lignina em escala macro (YEARLA; PADMASREE, 2016; NAIR et al., 2014). Além disso, as nanopartículas possuem grupos funcionais que podem ser quimicamente modificados, o que aumenta significativamente o seu potencial de aplicação (FIGUEIREDO et al., 2018).

Com isso, justifica-se o desenvolvimento de pesquisas que possam contribuir para melhorar o desempenho dos adesivos a base de ureia-formaldeído, principalmente em relação à resistência à umidade e emissão de formaldeído, tornando-o mais sustentável na indústria madeireira e agregando maior valor comercial à lignina.

Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho foi produzir nanolignina kraft de pinus e eucalipto e avaliar seus efeitos nas propriedades de adesivo à base de ureia-formaldeído para colagem de madeira.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e caracterização das ligninas e nanoligninas kraft

As ligninas kraft, em pó, de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. foram fornecidas por empresas do setor de celulose e papel, obtidas a partir do licor negro resultante do processo de polpação da celulose.

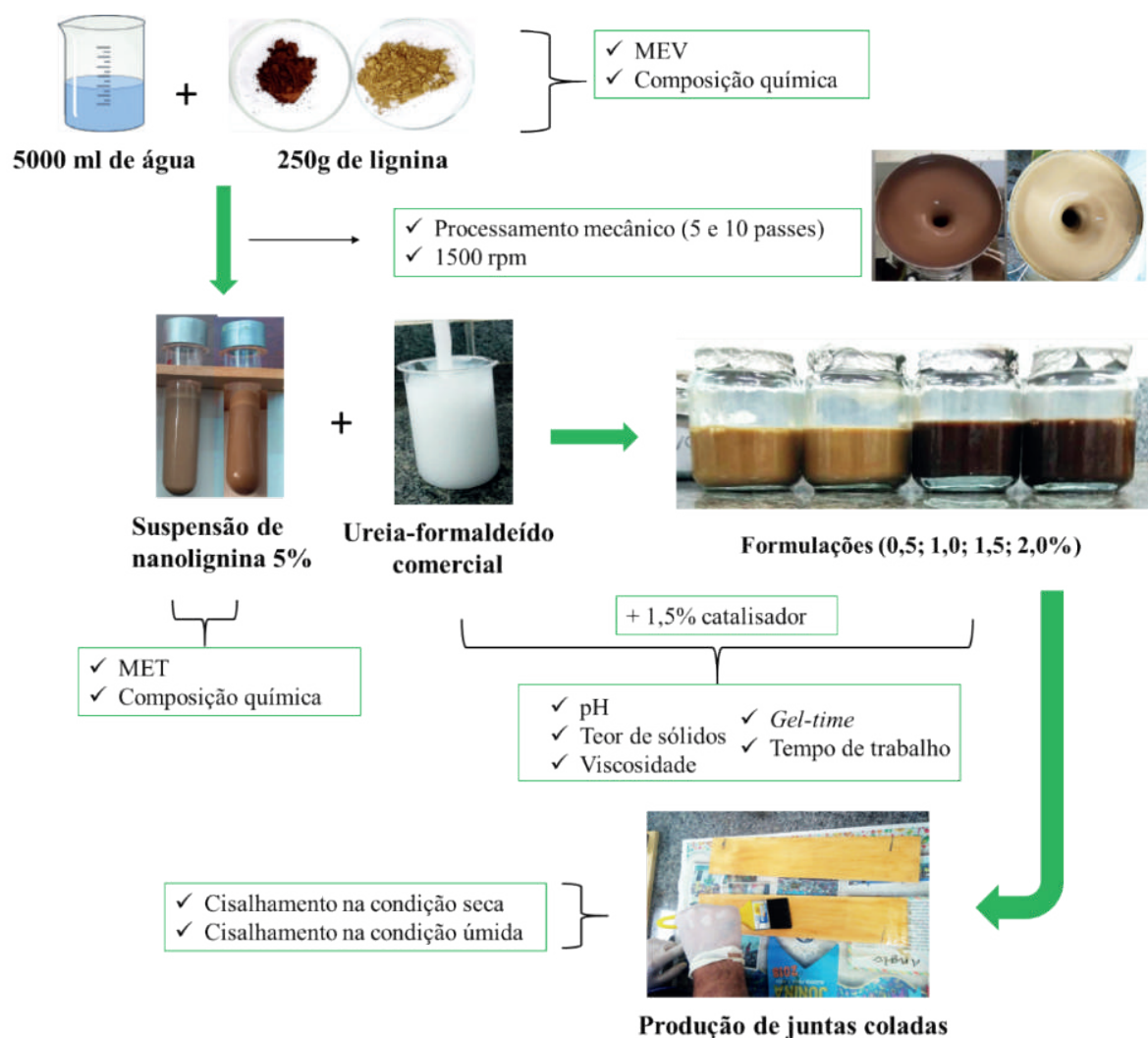
As nanoligninas kraft de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. foram obtidas por método mecânico a partir do moinho Super Masscolloider Masuko Sangyo MKCA6-2 à 1500 rpm com eficiência energética de 1.0×10^4 kWh/ton. Inicialmente, foi obtido o teor absolutamente seco (AS) das ligninas, para que em seguida fossem preparados 5 litros de suspensão de cada nanolignina para os dois passes, com consistência de 5% m/v. A distância entre os discos do moinho foi ajustada em 100 µm conforme descrito por Wang et al. (2012).

Para cada tipo de lignina, dois níveis de processamento correspondentes ao número de passagens no moinho foram avaliados, sendo 5 e 10 passes. O procedimento de preparo das nanoligninas durou aproximadamente 45 min para 5 passes e 90 minutos para 10 passes.

Planejamento das análises

As análises realizadas abrangem amostras de todas as etapas do trabalho, para as duas espécies em estudo, partindo das ligninas kraft de até a colagem de juntas de madeira, conforme a Figura 1.

Figura 1. Distribuição das análises para as diferentes etapas do trabalho



Fonte: O Autor

Descrição das análises

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi utilizada para obter a morfologia das ligninas kraft, utilizando o microscópio eletrônico de varredura - JEOL - JSM-6010 LA. A técnica de microscopia eletrônica de transmissão (MET) foi utilizada para obter a morfologia das nanoligninas kraft por meio do microscópio eletrônico de transmissão Zeiss EM 109. O diâmetro médio das partículas e nanopartículas foi determinado por análise de imagem digital, sendo realizadas 100 medições para cada tipo de lignina.

A determinação do teor de lignina insolúvel, em meio ácido, foi realizada de acordo com o método Klason, segundo a norma Tappi T222 om-98 (1998) modificada por Gomide e Demuner (1986). O teor de lignina solúvel foi determinado empregando o filtrado da hidrólise ácida obtido no método Klason, o qual foi analisado pela espectroscopia na região do ultravioleta (GOLDSCHIMID, 1971).

O teor de cinzas foi determinado segundo a norma Tappi T211 om-97 (1998).

Adição de nanoligninas ao adesivo ureia-formaldeído comercial

As formulações adesivas foram preparadas adicionando-se ao adesivo comercial de ureia-formaldeído, 0,5; 1; 1,5 e 2% de nanolignina kraft em solução, em relação ao teor de sólidos do mesmo, sendo o adesivo comercial puro, a testemunha. A mistura das suspensões de nanopartículas de lignina com o adesivo foi feita manualmente, durante um minuto em temperatura ambiente.

Propriedades dos adesivos

As formulações adesivas foram caracterizadas com e sem adição de catalisador sulfato de amônio (20% m/v), no teor de 1,5%, em relação à massa de adesivo, determinando-se o seu teor de sólidos, pH, viscosidade, tempo de gelatinização e tempo de trabalho.

O teor de sólidos foi obtido de acordo com os procedimentos descritos na norma ASTM D 1490-01 (2013). Foram pesados 2g de adesivo em placas de petri, previamente taradas. As amostras em triplicata, foram colocadas em estufa à 103°C por 15 h. Depois as amostras foram resfriadas em dessecadores e pesadas. O teor de sólidos foi determinado pela razão entre a massa seca e a massa úmida de cada amostra.

A determinação do pH foi realizada em pHmetro digital, a temperatura de 25°C, calibrado a pH 4 e 7, utilizando-se soluções tampão padronizadas. Foram utilizadas aproximadamente 200 ml dos adesivos em três repetições, segundo a norma ASTM E70-07 (ASTM, 2015).

A viscosidade dos adesivos foi determinada segundo a norma americana ASTM D 1084-97 – método B (1998). Utilizou-se viscosímetro de Brookfield-LV (cp), com haste (spindler) número 3, velocidade de 12 rpm e fator de conversão de 100, em amostras de aproximadamente 150 ml.

O tempo de gelatinização foi determinado por meio de amostras de 1 g dos adesivos, que foram colocados em tubos de ensaio de 15 cm de altura e 2 cm de diâmetro, em cujo interior foi mergulhado um bastão de vidro. O conjunto tubo-bastão foi mergulhado em um banho de glicerina à temperatura de 180°C, cronometrando-se o tempo gasto para a polimerização do adesivo em cada temperatura, conforme a norma ASTM D 2471-99 (ASTM, 1999).

O tempo de trabalho dos adesivos foi determinado com o auxílio de um cronômetro, a fim de verificar a influência das nanoligninas sobre a velocidade de cura dos adesivos formulados (CARNEIRO, 2006).

Resistência ao cisalhamento das juntas de madeira coladas

Para a determinação da resistência ao cisalhamento da linha de cola e porcentagem de falha na madeira, foram utilizadas lâminas de madeira de *Pinus* sp. de aproximadamente 25 anos. As lâminas foram confeccionadas com as dimensões de 0,65 x 9,0 x 40,0 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, que foram coladas empregando-se uma gramatura de 250 g.m⁻² de adesivo. Após a aplicação do adesivo, em face dupla, as lâminas foram pré-prensadas a frio por quatro minutos e, em seguida foram prensadas em prensa hidráulica à 180°C e pressão de 12 kgf/cm², durante 8 minutos.

Depois da prensagem, as lâminas foram acondicionadas em câmara de climatização a 20 ± 2°C de temperatura e 65 ± 3% de umidade relativa até atingir massa constante. Em seguida, os corpos de prova foram confeccionados com as dimensões de 1,3 x 2,54 x 8,26 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, para determinação da resistência ao cisalhamento a seco de acordo com a norma ASTM D 2339-98 (ASTM, 1998). A determinação da resistência ao cisalhamento úmido, após 24 horas de imersão em água à 20 ± 3°C, foi feita de acordo com os procedimentos da norma NBR ISO 12466-1 (ABNT, 2006).

Delineamento experimental

Propriedades das ligninas e nanoligninas

Para avaliar o efeito da fonte de lignina e do número de passes nas propriedades das nanoligninas, o experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, resultando em 6 tratamentos compostos de 2 tipos de nanolignina (pinus e eucalipto) e 3 níveis de obtenção da nanolignina (0, 5 e 10 passes), com três repetições cada, totalizando em 18 unidades amostrais. Os dados foram submetidos à análise de variância e foi realizado o teste de Tukey a 5% de significância para comparação das médias.

Efeito da adição de nanoligninas nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído

Para avaliar o efeito da adição das nanoligninas ao adesivo UF comercial, o experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, resultando em 17 tratamentos, compostos de 2 tipos de nanolignina (pinus e eucalipto) e 2 níveis de obtenção da nanolignina (passes) e 4 concentrações da nanolignina (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%) mais o tratamento controle (0%), com três repetições cada, totalizando 51 unidades amostrais. Os resultados foram submetidos à análise de variância. Para os dados

qualitativos, as médias foram comparadas entre si por meio do teste de Tukey à 5% de probabilidade. Para os dados quantitativos, quando necessário, foram ajudados modelos de regressão que melhor representaram o comportamento da variável dependente em relação a variável independente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das ligninas kraft e nanoligninas

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das propriedades das ligninas e nanoligninas de pinus e eucalipto.

Para as propriedades lignina solúvel, lignina insolúvel, lignina total e teor de cinzas a análise de variância indicou interação significativa entre o tipo de lignina e o número de passes pelo moinho, sendo necessário o desdobramento das interações.

Já para o pH, a análise de variância indicou interação não-significativa entre o tipo de lignina e o número de passes pelo moinho, e de acordo com o teste F, os efeitos simples dos fatores não tiveram diferença estatísticas entre os seus níveis, nem em relação ao tratamento testemunha, sendo 3,2 o valor médio de pH das ligninas/nanoligninas de pinus, e 3,5 para as ligninas/nanoligninas de eucalipto. O teor de enxofre é maior em ligninas oriundas do processo kraft quando comparado à lignina *in natura*, pois, o enxofre presente no licor branco (Na₂S + NaOH) se dissocia durante o processo de polpação e pode se ligar às moléculas lignina presente nos cavacos de madeira (HUANG; FU; GAN, 2019).

Tabela 1. Valores médios de composição química estrutural e elementar das ligninas (0) nanoligninas (5 e 10) de pinus e eucalipto

PROPRIEDADES	Espécie					
	Pinus			Eucalipto		
	Número de passes no moinho					
	0	5	10	0	5	10
Lignina solúvel (%)	1,16 aB	1,99 aA	1,03 aB	8,43 bA	10,61 bB	8,66 bA
Lignina insolúvel (%)	94,82 aA	91,82 aB	91,67 aB	88,46 bA	84,72 bB	86,99 bC
Lignina total (%)	95,98 aA	93,81 aB	92,70 aC	96,89 bA	95,53 bB	95,64 bB
Teor de cinzas (%)	2,37 aA	2,51 aB	2,72 aC	0,32 bB	0,65 bA	0,69 bA

Mesmas letras minúsculas entre as médias dos tipos de nanolignina, para um mesmo número de passes pelo moinho e mesmas letras maiúsculas entre as médias dos números de passes pelo moinho, para um mesmo tipo de nanolignina, não diferem entre si pelo teste Tukey (p > 0,05).

Os valores médios de composição química estrutural obtidos neste estudo foram similares aos observados por Ferreira (2017) em seu estudo com lignina kraft de eucalipto adicionada ao adesivo ureia-formaldeído para a colagem de madeira sólida e reconstituída,

Luz (2019) avaliando a reologia do ligante asfáltico modificado com lignina kraft de pinus e Vaz Jr. et al. (2020) que a descreve a aplicação otimizada das técnicas analíticas na caracterização físico-química de amostras de lignina kraft.

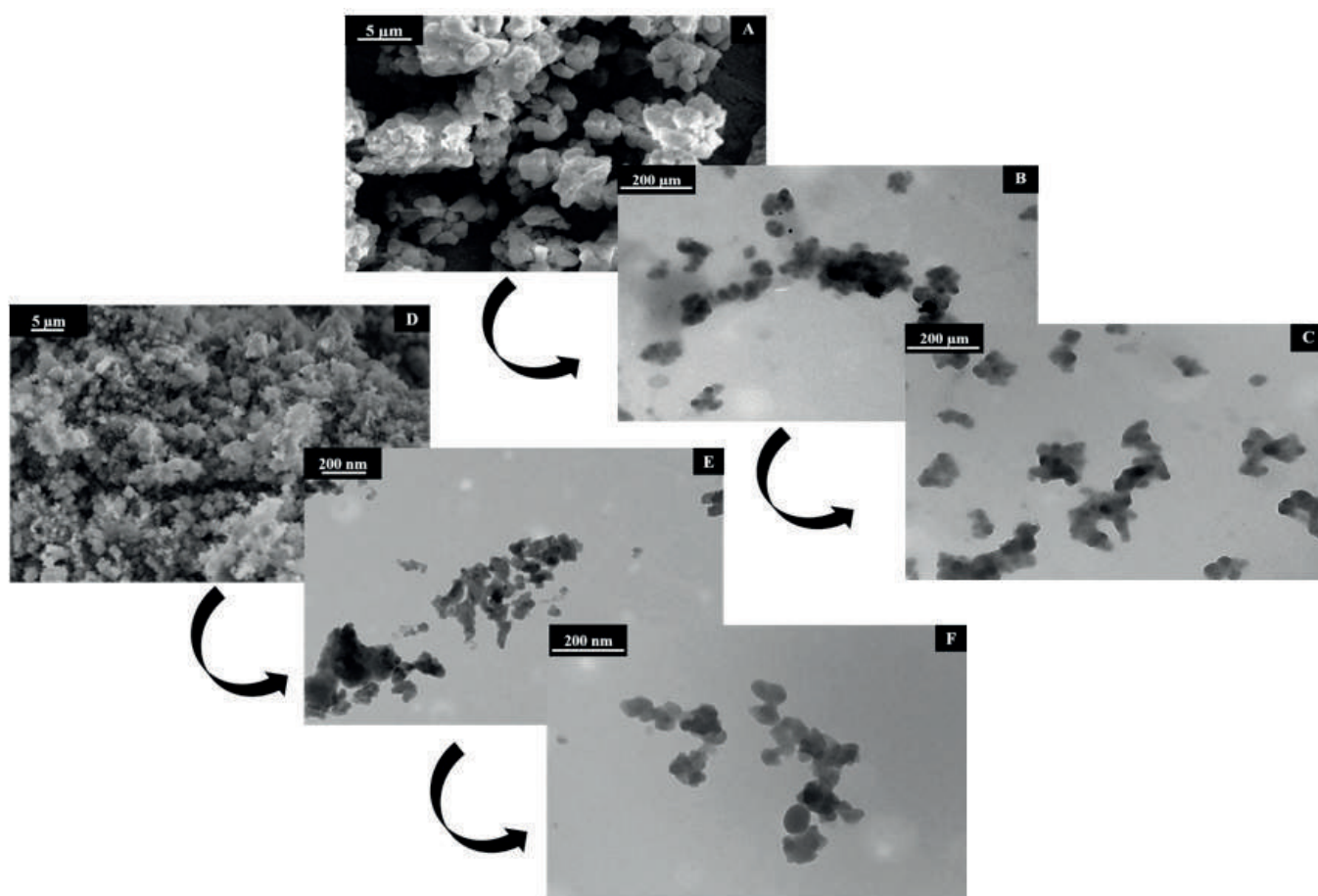
Nota-se que, principalmente para pinus, na conversão de lignina para nanolignina, os valores de lignina total foram reduzidos. Pode ser que a lignina estava contaminada com carboidratos, e os mesmos foram diluídos na água da suspensão para obtenção das nanopartículas. Apesar de não se terem disponíveis os valores de carboidratos, geralmente, os processos de recuperação da lignina contida no licor negro se baseiam no método de precipitação ácida (LEBO; GARGULAK; MCNALLY 2002), e, segundo Alekhina et al (2015), essa possível contaminação da lignina por carboidratos está relacionada à menor solubilidade das hemiceluloses em meio ácido, que podem ter se precipitado juntamente com a lignina, durante o processo de precipitação ácida.

Os teores de lignina solúvel e insolúvel são determinados, pelo método Klason, a partir das porções não-condensada e condensada das moléculas de lignina e, em geral, as ligninas de coníferas são altamente condensadas, enquanto ligninas de folhosas são menos condensadas (COLODETTE; GOMES, 2015). Dessa forma, conforme dados da Tabela 2, as ligninas/nanoligninas kraft de eucalipto apresentam menores teores de lignina insolúvel em comparação às ligninas/nanoligninas kraft de pinus, e podem ser consideradas menos condensadas, ou seja, mais acessível pelos reagentes durante as modificações químicas.

Pode-se também observar que os valores de composição química obtida para as ligninas, tanto de pinus e eucalipto, não foram alterados bruscamente, quando comparado aos valores obtidos para as nanoligninas oriundas das mesmas espécies. Com isso, fica evidente por meio desta análise que o processamento mecânico, ao utilizar o moinho SuperMassColoider, não causou modificações das ligninas, resultado também encontrado por Lopes (2018) e Nair et al. (2014).

As micrografias de MEV e MET (Figura 2) mostram a redução de tamanho das partículas de lignina de pinus e eucalipto da escala macro para nanoescala.

Figura 2. Micrografias de MEV e MET das ligninas e nanoligninas de eucalipto e pinus: A e D) MEV das partículas de lignina de eucalipto e pinus respectivamente; B e E) MET nanoligninas de eucalipto e pinus, respectivamente, após 5 passes no moinho; C e F) MET nanoligninas de eucalipto e pinus, respectivamente, após 10 passes no moinho.



Fonte: O Autor.

De acordo com as imagens de MEV, as partículas de lignina kraft tanto de eucalipto (A), quanto de pinus (E) apresentam formato irregular, com uma ampla distribuição de tamanho, estando em escala micrométrica. Podkościelna et al. (2015), e Lopes et al. (2017), em seus trabalhos com lignina kraft, observaram estruturas irregulares, de variados tamanhos, com outras estruturas menores irregulares aderidas.

Ao analisar as imagens de MET, nota-se algumas estruturas isoladas, na escala nanométrica, com menos de 100 nm de diâmetro, tendendo para o formato esférico para os dois tipos de nanolignina. As nanopartículas, na sua maioria, se apresentam em aglomerados com variados formatos, com tamanhos em torno de 200 nm.

Nair et al. (2014) e Lopes et al. (2017), utilizando-se de métodos mecânicos para obtenção de nanoligninas em seus trabalhos, sendo eles homogeneização mecânica e moinho SuperMassColloider, respectivamente, observaram que as partículas se encontravam em escala nanométrica e em aglomerados, assim como visualizado nas micrografias.

Lievonen et al., (2016), mesmo utilizando-se de método químico para obtenção de nanoligninas, por meio de etilenoglicol, tiveram como resultados parte das nanopartículas

individuais tendendo para esfericidade, e as demais partículas em aglomeração. Segundo os autores, essa tendência de aglomeração ocorre devido à grande área superficial das nanopartículas, que, para se estabilizarem, se ligam e formam esses conglomerados.

Caracterização dos adesivos aditivados com nanoligninas kraft de pinus e eucalipto.

A avaliação das propriedades dos adesivos modificados com nanoligninas kraft foram feitas utilizando-se o catalisador sulfato de amônia (1,5%).

Para a propriedade de pH, a análise de variância indicou efeito não significativo da interação entre o tipo de nanolignina (pinus e eucalipto), suas porcentagens adicionadas ao adesivo e o número de passes pelo moinho, e de acordo com o teste F, os efeitos simples dos fatores não apresentaram diferença estatísticas entre os seus níveis, nem em relação ao tratamento testemunha (pH = 4,85), sendo 4,3 o valor médio de pH dos adesivos modificados. Esse baixo valor de pH deve-se ao fato de que o sulfato de amônio (catalisador) ter caráter ácido (MARQUES 2009) e as nanoligninas também possuírem pH ácido (≈ 4).

Cabe salientar que o adesivo ureia-formaldeído polimeriza em condições ácidas, logo observa-se que a adição de nanolignina pode proporcionar tais condições, podendo agir também como um catalisador para desencadear as reações necessárias para polimerização do adesivo formulado, podendo ter como consequência uma redução no consumo do catalisador sulfato de amônia (FERREIRA, 2017).

A análise de variância para a viscosidade indicou efeito não significativo da interação tripla entre o tipo de nanolignina (pinus e eucalipto), suas porcentagens adicionadas ao adesivo e o número de passes pelo moinho. Porém, as interações duplas entre tipo de nanolignina e suas porcentagens, tipo de nanolignina e o número de passes pelo moinho, e as porcentagens adicionadas e o número de passes pelo moinho tiveram efeito significativo, as quais foram desdobradas da interação.

Na Tabela 2 estão representados os valores médios de viscosidade dos adesivos modificados referentes à interação tipo de nanolignina e número de passes pelo moinho. Vale salientar que a viscosidade do adesivo pode ser um fator limitante para sua aplicação, uma vez que o adesivo precisa ter uma viscosidade adequada para que a sequência de seus movimentos, desde a sua aplicação até a formação da linha de cola, ocorra também de maneira adequada.

Tabela 2. Valores médios de viscosidade (cP) dos adesivos de ureia-formaldeído modificados

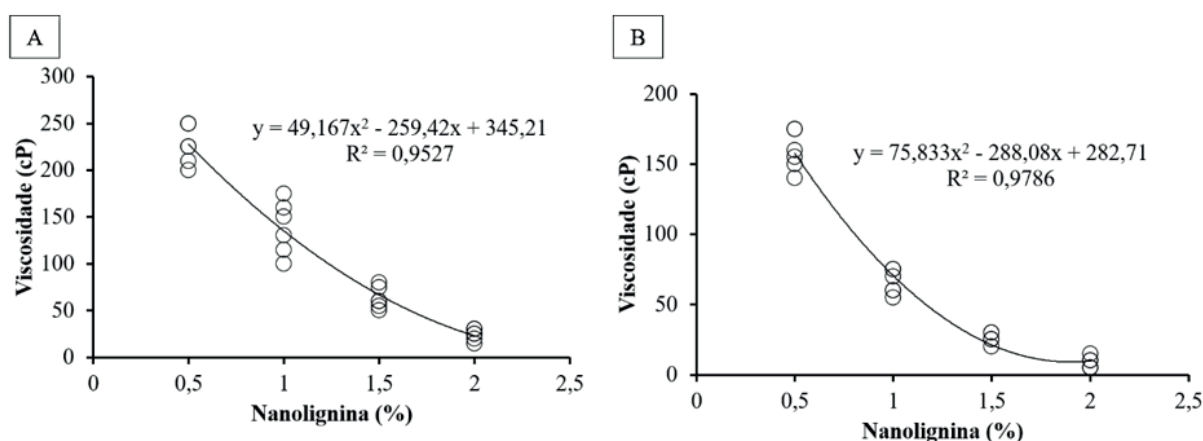
Tipo de nanolignina	Número de passes	
	5	10
Pinus	101,67 aB*	124,68 aA*
Eucalipto	62,92 bA*	66,67 bA*

Testemunha = 413,33 cP*

Mesmas letras minúsculas na coluna e mesmas letras maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$). (*) Representa diferença significativa e (n.s) diferença não significativa em relação à testemunha, pelo teste Dunnett ($p = 0,05$).

Fonte: O Autor.

Figura 3. Valores observados e estimados de viscosidade dos adesivos de ureia-formaldeído modificados em relação à quantidade de nanolignina adicionada para cada tipo de nanolignina: A) nanolignina de pinus; B) nanolignina de eucalipto.



Fonte: O Autor

A viscosidade dos adesivos para os tratamentos que contém nanolignina de pinus para todos os níveis de porcentagem, em geral, foram maiores quando comparado aos tratamentos contendo eucalipto (Figuras 3). A viscosidade intrínseca de um polímero é diretamente proporcional à massa molecular e ao volume hidrodinâmico da partícula, então, quanto maior o volume hidrodinâmico ou a massa molecular da partícula, maior será a sua viscosidade. Para lignina kraft de pinus, o valor médio de viscosidade intrínseca é de $0,075 \text{ dLg}^{-1}$ e de $0,055 \text{ dLg}^{-1}$ para lignina kraft de eucalipto (GLASSER, DAVE, FRAZIER, 1993), o que pode ter ocasionado maiores valores de viscosidade dos adesivos modificados com nanolignina de pinus.

Nota-se que a medida se aumenta a quantidade de nanolignina a formulação adesiva ocorre uma redução significativa da viscosidade, independente da fonte de lignina. Essa redução é devido à grande quantidade de água presente nas suspensões de nanolignina que foram adicionadas aos mesmos, chegando a ser esse valor de 6,67 cP para os adesivos modificados com 2% de nanolignina de eucalipto com 5 passes pelo moinho, representando uma queda na viscosidade de 98%. Cabe salientar que os valores de viscosidade reportados para adesivos de ureia-formaldeído se encontram na faixa de 400 a 1000 cP e, segundo Pizzi

e Mittal (2018), valores excessivamente baixos de viscosidade provoca super penetração do adesivo na madeira, resultando na linha de cola “faminta”, prejudicando o desempenho do adesivo em relação à colagem.

Para o teor de sólidos a análise de variância indicou efeito significativo da interação tripla entre o tipo de nanolignina (pinus e eucalipto), suas porcentagens adicionadas ao adesivo e o número de passes pelo moinho, sendo necessário realizar o desdobramento dessa interação.

Na Tabela 3 estão representados os valores médios do teor de sólidos dos adesivos modificados.

Tabela 3. Valores médios de teor de sólidos dos adesivos de ureia-formaldeído modificados

Tipo de Nanolignina	Número de passes pelo moinho	Porcentagem de Nanolignina				Média
		0.5	1.0	1.5	2.0	
		Teor de Sólidos (%)				
Eucalipto	5	48,19 bA*	43,67 bB*	40,14 bA*	38,61 bA*	42,65
	10	47,58 bB*	45,59 bA*	41,76 bB*	38,98 bA*	43,48
Média		47,89	44,63	40,95	38,80	43,07
Pinus	5	49,81aA ^(n,s)	46,61 aB*	44,73 aB*	42,48 aB*	45,91
	10	50,15aA ^(n,s)	48,14 aA*	45,76 aA*	43,88 aA*	46,98
Média		49,98	47,38	45,25	43,18	46,44

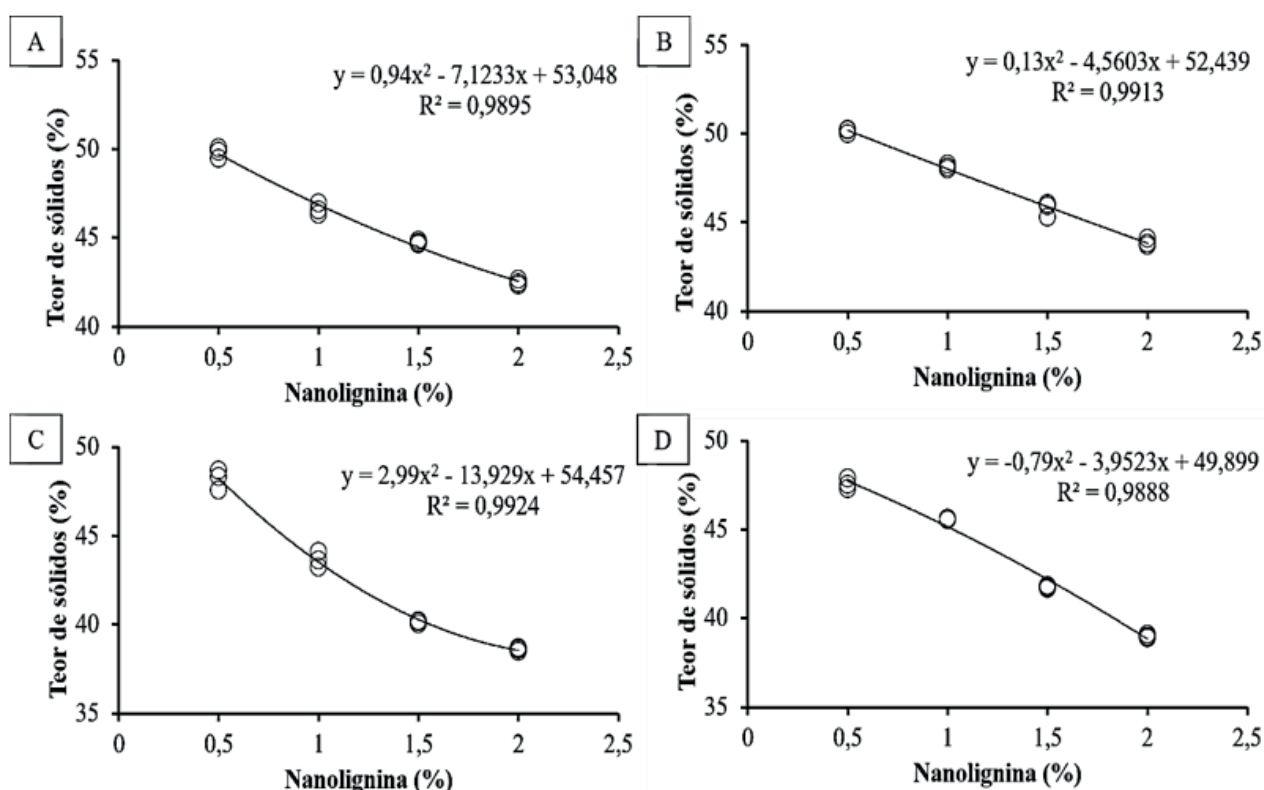
Testemunha = 51,53%.*

Mesmas letras minúsculas entre as médias dos tipos de nanolignina, para uma mesma porcentagem de nanolignina e mesmo número de passes pelo moinho; e mesmas letras maiúsculas entre as médias dos números de passes pelo moinho, para um mesmo tipo de nanolignina e mesma porcentagem de nanolignina, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$). (*) Representa diferença significativa e (n.s) diferença não significativa em relação à testemunha, pelo teste Dunnett ($p = 0,05$).

Fonte: O Autor.

Observa-se redução dos valores médios de teor de sólidos dos adesivos (Figura 4) à medida que se aumenta a porcentagem de nanolignina. Essa redução nos valores de teor de sólidos está relacionada com a grande quantidade de água contida na suspensão de nanolignina, visto que a mesma estava na consistência de 5%.

Figura 4. Valores médios de teor de sólidos dos adesivos de ureia-formaldeído modificados, em relação à quantidade de nanolignina adicionada para cada tipo de nanolignina e número de passes pelo moinho: A) Nanolignina de Pinus - 5 Passes; B) Nanolignina Pinus - 10 Passes; C) Nanolignina Eucalipto - 5 Passes; D) Nanolignina Eucalipto - 10 Passes



Fonte: O Autor.

O adesivo é composto de componentes sólidos e líquidos voláteis, constituídos de solventes orgânicos. Com a prensagem a quente, ocorre a evaporação dos componentes líquidos, “cura” e solidificação do adesivo, formando a linha de cola que é responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões do sistema madeira – linha de cola – madeira (IWAKIRI, 2005).

Sendo assim, um menor teor de sólidos do adesivo pode interferir na qualidade da linha de cola, devido a menor quantidade de material sólido, prejudicando a adesão entre adesivo e substrato, além de poder causar “estouros” no painel e a sua delaminação, devido à grande quantidade de vapor gerada na prensagem à quente, pela a evaporação do excesso de líquido presente no adesivo. A secagem por spray-drying ou a liofilização das nanoligninas, obtendo-as em forma de pó, ou até mesmo o aumento da consistência das suspensões, podem ser alternativas para minimizar ou mesmo solucionar esse tipo de problema.

A análise de variância para a propriedade de gel-time indicou efeito significativo da interação tripla entre o tipo de nanolignina (pinus e eucalipto), suas porcentagens adicionadas ao adesivo e o número de passes pelo moinho, sendo necessário realizar o desdobramento dessa interação. Na Tabela 4 estão representados os valores médios de gel-time dos adesivos modificados.

Tabela 4. Valores médios de gel-time, dos adesivos de ureia-formaldeído modificados

Tipo de Nanolignina	Número de passes pelo moinho	Porcentagem de Nanolignina				Média
		0.5	1.0	1.5	2.0	
		Gel-time (s)				
Eucalipto	5	14,45 bB*	16,36 aA ^(n.s)	17,86 aA ^(n.s)	15,35 aB*	16,01
	10	16,49 aA ^(n.s)	16,38 aA ^(n.s)	15,04 aB*	16,44 aB ^(n.s)	16,09
Média		15,47	16,37	16,45	15,90	16,05
Pinus	5	18,42 aA ^(n.s)	14,69 bA*	15,64 bA*	13,46 bB*	15,55
	10	14,86 bB*	16,31 aA ^(n.s)	14,07 aB*	15,01 bA*	15,06
Média		16,64	15,50	14,86	14,24	15,31

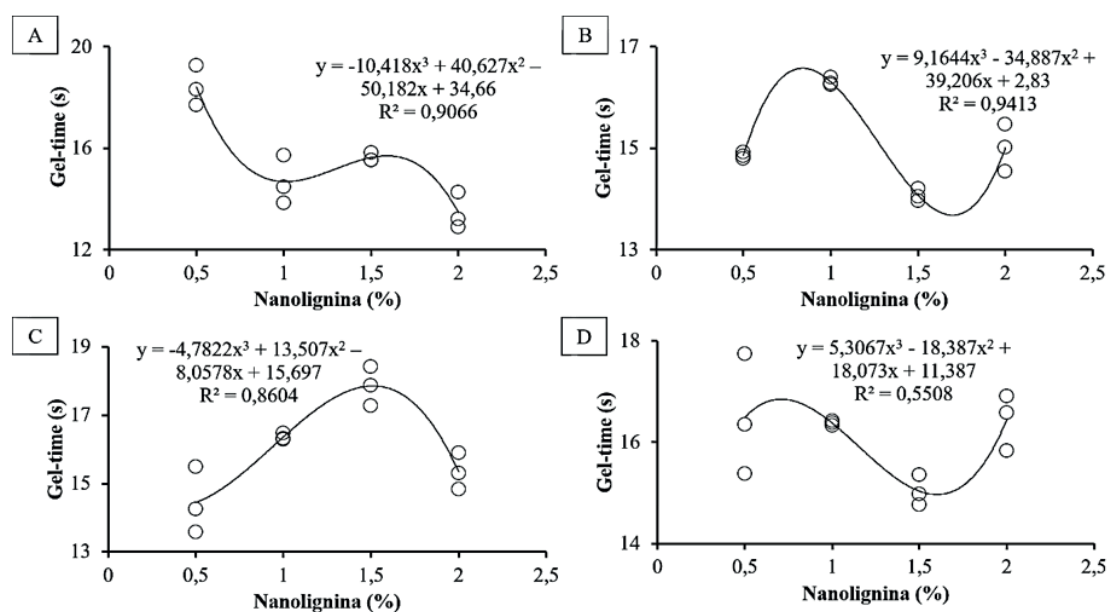
Testemunha = 17,49 s.*

Mesmas letras minúsculas entre as médias dos tipos de nanolignina, para uma mesma percentagem de nanolignina e mesmo número de passes pelo moinho; e mesmas letras maiúsculas entre as médias dos números de passes pelo moinho, para um mesmo tipo de nanolignina e mesma percentagem de nanolignina não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$). (*) Representa diferença significativa e (n.s) diferença não significativa em relação à testemunha, pelo teste Dunnett ($p = 0,05$).

Fonte: O autor.

Pela Figura 5, observa-se que os valores de gel-time não seguiram a mesma tendência em todos os tratamentos. No entanto, nota-se que não houve uma alteração brusca do tempo de gelatinização, apesar da análise de variância mostrar efeito significativo. Os valores variaram de 13,4 a 18,42 segundos para as formulações adesivas contendo nanolignina, tendo o adesivo testemunha um valor médio de 17,49 segundos. Essa variação de tempo de gel-time pode ter sido decorrente de diferentes quantidades de nanopartículas nas alíquotas utilizadas para fazer a análise, uma vez que a mesma foi feita em massa total.

Figura 5. Valores médios de gel-time dos adesivos de ureia-formaldeído modificados, em relação à quantidade de nanolignina adicionada para cada tipo de nanolignina e número de passes pelo moinho: A) Nanolignina de Pinus - 5 Passes; B) Nanolignina Pinus - 10 Passes; C) Nanolignina Eucalipto - 5 Passes; D) Nanolignina Eucalipto - 10 Passes



Fonte: O autor.

O tempo de gelatinização está relacionado ao tempo de prensagem somado ao tempo total de aquecimento de todo o painel. Assim, reduzindo-se o tempo de gelatinização, reduz-se também o tempo de prensagem, porém esse tempo não pode ser muito curto de modo a ocasionar a pré-cura do adesivo, que pode resultar em perda de resistência mecânica do produto colado (FERREIRA, 2017).

Para o tempo de trabalho dos adesivos a análise de variância indicou efeito significativo da interação tripla entre o tipo de nanolignina (pinus e eucalipto), suas porcentagens adicionadas ao adesivo e o número de passes pelo moinho, sendo necessário realizar o desdobramento dessa interação.

Na Tabela 5 estão representados os valores médios de tempo de trabalho dos adesivos modificados.

Tabela 5. Valores médios do tempo de trabalho dos adesivos de ureia-formaldeído modificados, por tipo de nanolignina

Tipo de Nanolignina	Número de passes pelo moinho	Porcentagem de Nanolignina				Média
		0.5	1.0	1.5	2.0	
		Tempo de Trabalho (min)				
Eucalipto	5	70,67 aB*	93,67 aB*	120,33 aA*	142,33 aA*	106,75
	10	75,00 aA*	97,00 aA*	109,33 aB*	130,33 aB*	102,92
Média		72,83	95,33	114,83	136,33	104,83
Pinus	5	53,33 bB*	70,33 bB*	76,67 bB*	92,33 bB*	73,17
	10	65,33 bA*	78,67 bA*	90,33 bA*	111,00bA*	86,33
Média		59,33	74,50	83,50	101,67	79,75

Testemunha = 42,67 minutos.*

Mesmas letras minúsculas entre as médias dos tipos de nanolignina, para uma mesma porcentagem de nanolignina e mesmo número de passes pelo moinho; e mesmas letras maiúsculas entre as médias dos números de passes pelo moinho, para um mesmo tipo de nanolignina e mesma porcentagem de nanolignina; não diferem entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$). (*) Representa diferença significativa e (n.s) diferença não significativa em relação à testemunha, pelo teste Dunnett ($p = 0,05$).

Fonte: O Autor.

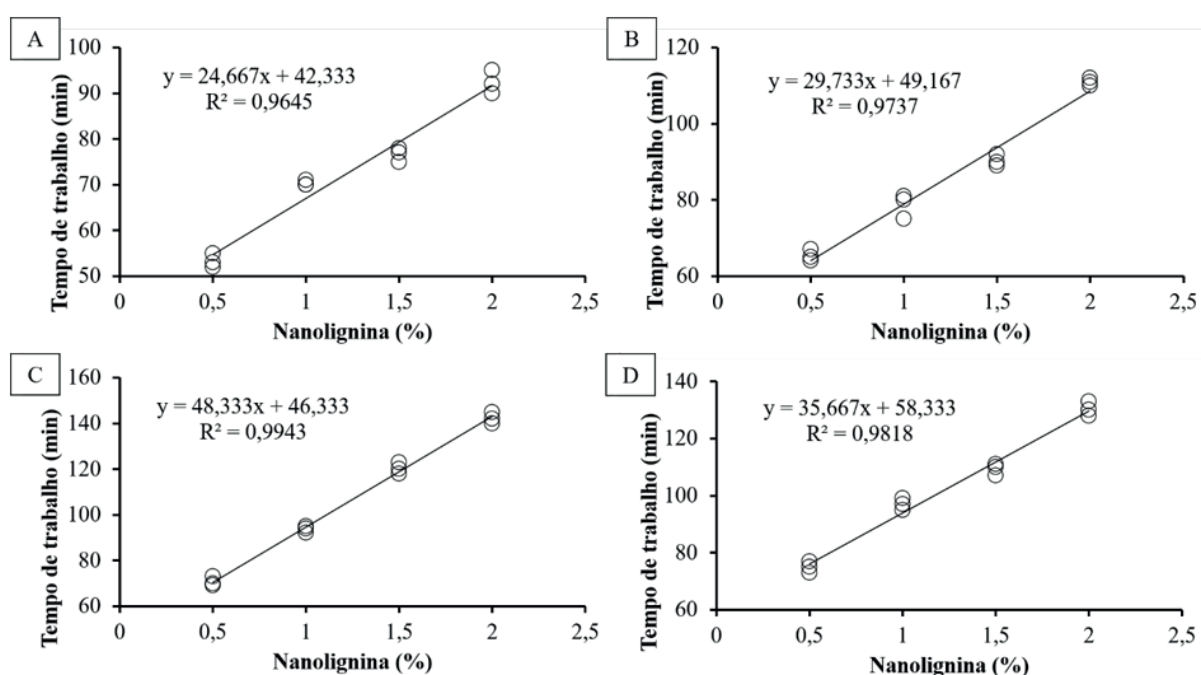
O tempo de trabalho se refere ao tempo de vida útil do adesivo, após sua preparação, até a fase de gel, quando atinge a máxima viscosidade, relacionando-se assim com viabilidade de se trabalhar com o mesmo (FERREIRA, 2017). Nota-se que à medida que se aumenta a porcentagem de nanolignina aos adesivos ocorre, também, aumento do tempo de trabalho (Figura 6).

Para os adesivos modificados com nanolignina de eucalipto o menor tempo de trabalho (70,67 minutos) foi observado para a mistura contendo 0,5% de nanolignina produzidas com 5 passes pelo moinho. Já o maior tempo de trabalho foi observado para a mistura contendo 2% de nanolignina de eucalipto obtida a partir de 5 passes no moinho, sendo de 142,33 minutos, representando um aumento de aproximadamente 100% em relação ao adesivo contendo 0,5% de nanolignina.

Para os adesivos modificados com nanolignina de pinus o menor tempo de trabalho foi observado para a mistura contendo 0,5% de nanolignina com 5 passes pelo moinho, sendo de 53,33 minutos. Já o maior tempo de trabalho foi observado para a mistura contendo 2% de nanolignina com 10 passes pelo moinho, sendo de 111 minutos.

Esse comportamento também está relacionado com o aumento da quantidade de água dos adesivos modificados, visto que o excesso de água retarda as reações de polimerização fazendo com que as mesmas gastem mais tempo para se iniciarem e se desencadearem, implicando em um maior tempo de prensagem, dos adesivos com maiores porcentagens de nanolignina.

Figura 6. Valores médios do tempo de trabalho dos adesivos de ureia-formaldeído modificados, em relação à quantidade de nanolignina adicionada para cada tipo de nanolignina e número de passes pelo moinho: A) Nanolignina de Pinus - 5 Passes; B) Nanolignina Pinus - 10 Passes; C) Nanolignina Eucalipto - 5 Passes; D) Nanolignina Eucalipto - 10 Passes.



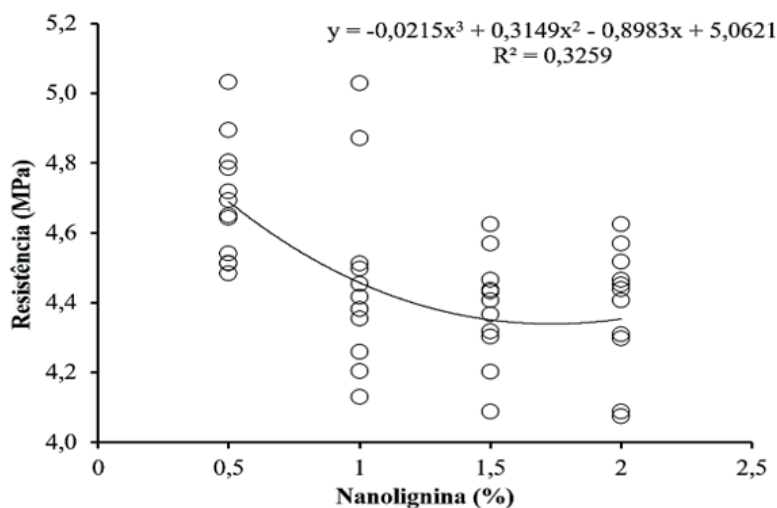
Fonte: O Autor.

O recomendado por muitos trabalhos na literatura é que tempo de trabalho dos adesivos não deve ser muito longo, pois exigiria um tempo de prensagem também mais longo. No entanto, o curto tempo de trabalho resulta na dificuldade de aplicar e espalhar o adesivo na madeira, devido à sua rápida polimerização, causando uma diminuição na resistência da linha de cola (CUNHA, 2016).

Para a propriedade de resistência ao cisalhamento das juntas de madeira colada, na condição seca, a análise de variância indicou efeito não significativo da interação tripla entre o tipo de nanolignina, suas porcentagens adicionadas ao adesivo e o número de passes pelo moinho, e de acordo com o teste F, os efeitos simples dos fatores tipo de nanolignina e passes no moinho não apresentaram diferença estatísticas entre os seus níveis, nem em relação ao tratamento testemunha (4,78 MPa), sendo 4,46 MPa o valor médio de resistência

ao cisalhamento das juntas coladas. Já a porcentagem de nanolignina, provocou alteração significativa na resistência das juntas coladas. A resistência diminui à medida que se acrescentou nanolignina aos adesivos (Figura 7).

Figura 7. Valores médios de resistência ao cisalhamento, condição seca, das juntas coladas de madeira em relação à porcentagem de nanolignina adicionada.



Fonte: O Autor.

Essa redução dos valores de resistência pode ter acontecido devido à diminuição da viscosidade e do teor de sólidos dos adesivos pela quantidade de água contida na mistura. O adesivo pode ter penetrado mais e ter sido muito absorvido pela madeira devido à baixa viscosidade e também talvez por não ter a quantidade de sólidos necessária para formação de uma linha de cola adequada que é responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões do sistema madeira – linha de cola – madeira.

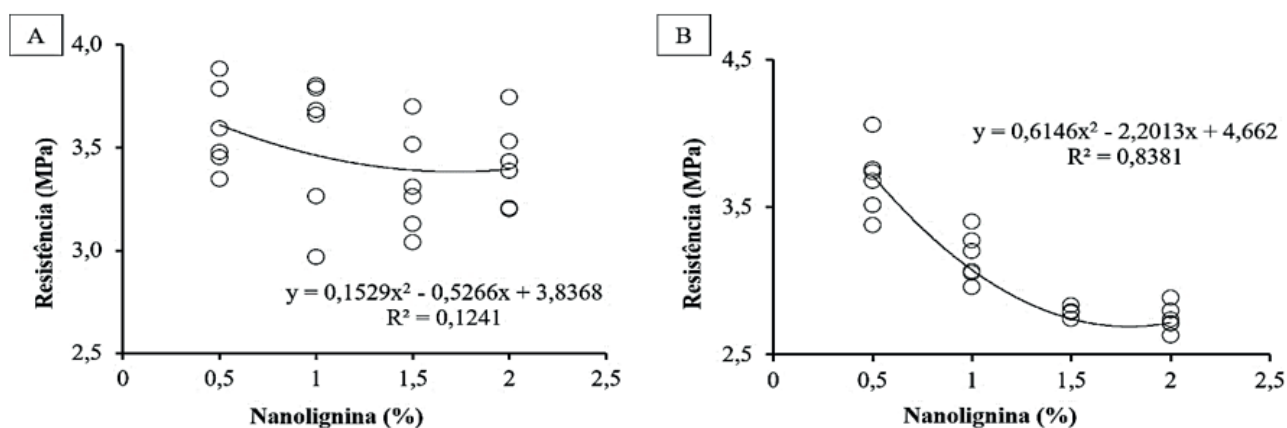
Segundo Dunky (1998), a diluição do adesivo em excesso de água provoca a precipitação de parte das moléculas presentes no mesmo. Essa porção precipitada contém as moléculas de maior massa molar (polimerizadas), retardando assim, a finalização de reação de cura, devido ao grande tamanho das moléculas, o que pode impedir a ligação entre elas ou resultar em ligações intermoleculares fracas, fazendo com que as juntas coladas tivessem baixa resistência ao cisalhamento.

Sendo assim as nanoligninas podem não ter atuado como um aditivo, ou seja, participado das reações de polimerização e sim como carga, ficando inerte, em suspensão, não formando uma solução verdadeira juntamente com o adesivo.

Já para a propriedade de resistência ao cisalhamento das juntas de madeira colada, na condição úmida, a análise de variância indicou efeito não significativo da interação tripla entre o tipo de nanolignina, suas porcentagens adicionadas ao adesivo e o número de passes pelo moinho. Porém, a interação dupla entre tipo de nanolignina e suas porcentagens, teve efeito significativo, sendo necessário o desdobramento da interação.

Em geral, os valores de resistência ao cisalhamento, na condição úmida, não se diferenciaram estatisticamente do valor de resistência da testemunha. Porém, os valores se diferiram entre os tipos de nanolignina usada, exceto para porcentagem de 0,5%, sendo os maiores valores de resistência observados para as juntas coladas com nanolignina de pinus, em todas as outras porcentagens, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8. Valores médios de resistência ao cisalhamento, condição úmida, das juntas coladas de madeira em relação: à quantidade de nanolignina adicionada para cada tipo de nanolignina: A) nanolignina de pinus; B) nanolignina de eucalipto.



Fonte: O Autor.

Os valores de resistência ao cisalhamento, na condição úmida, foram menores que os obtidos na condição seca, evidenciando a baixa resistência dos adesivos ureia-formaldeído à água, mesmo com adição de nanolignina. Logo, os mesmos não devem ser utilizados em ambientes com alta umidade relativa ou em contato direto com a água.

De acordo com Dutkiewicz (1983), o processo de hidrólise dos adesivos ureia-formaldeído curados, envolve a liberação de formaldeído e a deterioração gradual de suas propriedades como a diminuição da resistência mecânica e perda das características de adesão.

A resistência média ao cisalhamento da madeira utilizada para a confecção das juntas de madeira coladas foi de 6,91 MPa, estando acima das resistências obtidas para as linhas de cola adesivas.

Embora muitos aspectos da madeira influenciem na aderência do adesivo, as propriedades deste desempenham um papel no controle da resistência da linha de cola. Deve-se lembrar também que, assim que o adesivo entra em contato com a madeira, todas essas propriedades são alteradas devido à penetração do vazão e da parede celular, movimento de água, capacidade de tamponamento da madeira, mudanças de temperatura, entre outros. Claramente, não é apenas a viscosidade inicial, pH, etc. do adesivo, mas também as alterações nessas propriedades ao longo do tempo, à medida que interagem com a madeira que realmente determina o desempenho do adesivo (MITTAL, 2015).

CONCLUSÕES

- O método mecânico utilizando o moinho SuperMassColloider foi eficiente para produção das nanopartículas de lignina kraft de pinus e eucalipto.
- As nanopartículas, em geral, se apresentaram em aglomerados com dimensões em torno de 200 nm. Algumas estruturas isoladas tenderam para o formato esférico, com diâmetros menores que 100 nm.
- Em relação às propriedades adesivas, as adições de nanolignina kraft de pinus e eucalipto ao adesivo ureia-formaldeído reduziram o teor de sólidos, a viscosidade e a resistência ao cisalhamento; e de modo geral, aumentaram o tempo de trabalho e gel-time.

A otimização de um adesivo requer consideração não apenas de todas as propriedades do adesivo, mas também dos detalhes de sua formulação, bem como da madeira e do processo utilizado. Para trabalhos futuros, recomenda-se fazer a secagem das nanoligninas para a modificação dos adesivos de ureia-formaldeído e testar novas porcentagens de adição, bem como adicionar as nanoligninas na síntese do adesivo ureia-formaldeído.

■ REFERÊNCIAS

1. ALEKHINA, M.; ERSHOVA, O.; EBERT, A.; HEIKKINEN, S.; SIXTA, H. Softwood kraft lignin for value-added applications: Fractionation and structural characterization. **Industrial Crops and Products**, v. 66, p. 220-228, 2015.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM. D 1084-97**: Standard test methods for viscosity of adhesives. West Conshohocken: ASTM Internacional, 1998.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM. D 1490-01**: Standard test method for nonvolatile content of urea-formaldehyde resin solutions. West Conshohocken: ASTM Internacional, 2013, 2 p.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM. D 2339-98**: Standard test method for strength properties of adhesives in two-ply wood construction in shear by tension loading. Annual book of ASTM standards: adhesives. West Conshohocken: ASTM Internacional, 1998. 600 p.
5. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM. D 2471-99**: Standard test method for gel time and peak exothermic temperature of reacting thermosetting resins. West Conshohocken: ASTM Internacional, 1999.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM. E70-07**: Standard test method for ph of aqueous solutions with the glass electrode. West Conshohocken: ASTM Internacional, 2015.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 12466- 1: Madeira Compensada – Qualidade de colagem. Parte 1: Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
8. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2019: **Ano base 2018** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2019.
9. BARDAK, T.; SOZEN, E.; KAYAHAN, K.; BARDAK, S. The impact of nanoparticles and moisture content on bonding strength of urea formaldehyde resin adhesive. **Drvna industrija: Znanstveni časopis za pitanja drvne tehnologije**, v. 69, n. 3, p. 247-252, 2018.
10. BREBU, M.; VASILE, C. Thermal degradation lignin - A review. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 44, n. 9, p. 353-363, 2010.
11. CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da hidrólise ácida e sulfitação de taninos de Eucalyptus grandis w. hill ex maiden e Anadenanthera peregrina spg., nas propriedades dos adesivos.** 2006. 182f. 2006. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
12. CHEN, Y.; GONG, X.; YANG, G.; LI, Q.; ZHOU, N. Preparation and characterization of a nanolignin phenol formaldehyde resin by replacing phenol partially with lignin nanoparticles. **RSC Advances**, v. 9, n. 50, p. 29255-29262, 2019.
13. COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. **Branqueamento de polpa celulósica: da produção da polpa marrom ao produto acabado.** 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. v. 1. 816p.
14. CUNHA, R. C. B. L. D. **Implementação de um método para a medição de Gel Time de resinas à base de formaldeído.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto – Portugal, 2016.
15. DERKACHEVA, O.; SUKHOV, D. Investigation of lignins by FTIR spectroscopy. In: **Macromolecular Symposia**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2008. p. 61-68. 2008.
16. DJIPOROVIĆ-MOMČILOVIĆ, M.; GAVRILOVIĆ-GRMUŠA, I.; TODOROVIĆ, T.; POPOVIĆ, M.; MEDVED, S.; POPOVIĆ, J.; HAMID, F. Evaluation of two ultrasonic methods for preparing urea-formaldehyde adhesives with nano-SiO₂. **Pro Ligno**, v. 14, n. 4, p. 39-44, 2018.
17. DUNKY, M. Urea–formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 18, n. 2, p. 95-107, 1998.
18. DUTKIEWICZ, J. Hydrolytic degradation of cured urea–formaldehyde resin. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 28, n. 11, p. 3313-3320, 1983.
19. FERREIRA, J. C. **Sínteses de adesivos de ureia-formaldeído com adição de lignina kraft e celulose nanocristalina.** 2017. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.
20. FIGUEIREDO, P.; LINTINEN, K.; HIRVONEN, J. T.; KOSTIAINEN, M. A.; SANTOS, H. A Properties and chemical modifications of lignin: Towards lignin-based nanomaterials for biomedical applications. **Progress in Materials Science**, v. 93, p. 233-269, 2018.
21. GLASSER, W. G.; DAVÉ, V.; FRAZIER, C. E. Molecular weight distribution of (semi-) commercial lignin derivatives. **Journal of wood chemistry and technology**, v. 13, n. 4, p. 545-559, 1993.
22. GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971, p. 241-266.

23. GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O papel**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
24. GONUGUNTA, P. **Synthesis and Characterization of Biobased Carbon Nanoparticles from Lignin**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas a Engenharia) – Universidade de Guelph, Ontario, Canadá, 2012.
25. GUPTA, A. K.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. Synthesis, characterization and application of lignin nanoparticles (LNPs). **Materials Focus**, v. 3, n. 6, p. 444-454, 2014.
26. HAFEZ, I.; TAJVIDI, M. Laminated Wallboard Panels Made with Cellulose Nanofibrils as a Binder: Production and Properties. **Materials**, v. 13, n. 6, p. 1303, 2020.
27. HERGERT, H. L. Infrared spectra of lignin and related compounds. II. Conifer lignin and model compounds¹, 2. **The Journal of Organic Chemistry**, v. 25, n. 3, p. 405-413, 1960.
28. HUANG, J.; FU, S.; GAN, L. **Lignin Chemistry and Applications**. Elsevier, 2019.
29. IBRAHIM, M. M.; AGBLEVOR, F. A.; EL-ZAWAWY, W. K. Isolation and characterization of cellulose and lignin from steam-exploded lignocellulosic biomass. **Bioresources**, n. 5, v. 1, p. 397- 418, 2010.
30. INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Relatório anual 2020**. Disponível em: < <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2020.pdf> >. Acesso em: 22 out. 2020.
31. ISMITA, N.; RAWAT, I.; KHALI, D. P.; KISHANKUMAR, V. S.; GUPTA, S. Effect of nanoclay addition to urea formaldehyde resin on bending properties of finger jointed timber sections. **International Journal of Recent Scientific Research**, v. 10, p. 35853-35857, 2019.
32. IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF. 2005. 254p.
33. JAKAB, E.; FAIX, O.; TILL, F.; SZÉKELY, T. Thermogravimetry/mass spectrometry study of six lignins within the scope of an international round robin test. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, v. 35, n. 2, p. 167-179, 1995.
34. KHANJANZADEH, H.; BEHROOZ, R.; BAHRAMIFAR, N.; PINKL, S.; GINDL-ALTMUTTER, W. Application of surface chemical functionalized cellulose nanocrystals to improve the performance of UF adhesives used in wood-based composites-MDF type. **Carbohydrate polymers**, v. 206, p. 11-20, 2019.
35. KHODER, M. I.; SHAKOUR, A. A.; FARAG, S. A.; ABDEL HAMEED, A. A. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes in residential areas in Greater Cairo. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 2, n. 2, p. 123-126, 2000.
36. KIM, S. KIM, J. A.; KIM, H. J.; KIM, S. D. Determination of formaldehyde and TVOC emission factor from wood-based composites by small chamber method. **Polymer Testing**, v. 25, n. 5, p. 605-614, 2006.
37. LEBO J. R.; STUART E.; GARGULAK, J. D.; MCNALLY, T. J. Lignin. **Encyclopedia of Polymer Science and Technology**, v. 3, 2002.
38. LIEVONEN, M.; VALLE-DELGADO, J. J.; MATTINEN, M. L.; HULT, E. L.; LINTINEN, K.; KOSTIAINEN, M. A.; PAANANEN, A.; SZILVAY, G. R.; SETÄLÄ, H.; ÖSTERBERG, M. A simple process for lignin nanoparticle preparation. **Green Chemistry**, v. 18, n. 5, p. 1416-1422, 2016.

39. LOPES, M. S. **Obtenção e caracterização de ligninas e nanopartículas de lignina klason e kraft**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR. 2018.
40. LOPES, M. S.; CARNEIRO, M. E.; DE ANDRADE, A. S.; POTULSKI, D. C. Hidrólise ácida para produção de nano lignina em pó. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 1, n. 1, p. 41-47, 2017.
41. LUZ, P. M. S. G. **Avaliação reológica do ligante asfáltico 50/70 modificado com lignina das madeiras pinus e eucalipto**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2019.
42. MARQUES, J. L. S. **Desenvolvimento de adesivos nanocompósitos de poliuretano à base de óleo de mamona**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2009.
43. MESQUITA, R. G. A. **The use of lignocellulosic byproducts and cellulose nanocrystals within particleboard production**. 2017. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Departamento de Ciências Florestais. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
44. MESQUITA, R. G. A.; MENDES, L. M.; SANADI, A. R.; DE SENA NETO, A. R.; CLARO, P. I. C.; CORRÊA, A. C.; MARCONCINI, J. M. Urea formaldehyde and cellulose nanocrystals adhesive: Studies applied to sugarcane bagasse particleboards. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 7, p. 3040-3050, 2018.
45. MITTAL, Kashmiri Lal (Ed.). **Progress in adhesion and adhesives**. John Wiley & Sons, 2015.
46. MYERS, G. E. Investigation of urea-formaldehyde polymer cure by infrared. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 26, n. 3, p. 747-764, 1981.
47. NAIR, S. S.; SHARMA, S.; PU, Y.; SUN, Q.; PAN, S.; ZHU, J. Y.; RAGAUSKAS, A. J. High shear homogenization of lignin to nanolignin and thermal stability of Nanolignin-Polyvinyl alcohol blends. **ChemSusChem**, v. 7, n. 12, p. 3513-3520, 2014.
48. NALI, E. C.; RIBEIRO, L. B.; HORA, A. B. Biorrefinaria integrada à indústria de celulose no Brasil: oportunidade ou necessidade? **BNDES Setorial**, n. 43, 257-294, 2016.
49. PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. Third edition. CRC press, 658p, 2018.
50. PODKOŚCIELNA, B.; SOBIESIAK, M.; ZHAO, Y.; GAWDZIK, B.; SEVASTYANOVA, O. Preparation of lignin-containing porous microspheres through the copolymerization of lignin acrylate derivatives with styrene and divinylbenzene. **Holzforschung**, v. 69, n. 6, p. 769-776, 2015.
51. REIS, M. F. C. **Efeito da adição de nanoargilas organofilizadas nas propriedades e na resistência da linha de cola do adesivo ureia-formaldeído**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.
52. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – **TAPPI. Acid –insoluble lignin in wood and pulp**: T222 om-98. Atlanta, 1998/1999.
53. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – **TAPPI. Ash in wood, pulp, paper and paperboard**: combustion at 525°C: T 211 om-97. Atlanta, 1998/1999.

54. VAZ JUNIOR, S.; MAGALHAES, W.; COLNAGO L.; LEAL, W. D. O. Metodologia de caracterização físico-química de lignina kraft. **Embrapa Agroenergia-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2020.
55. WANG, Q. Q.; ZHU, J. Y.; GLEISNER, R.; KUSTER, T. A.; BAXA, U.; & MCNEIL, S. E. Morphological development of cellulose fibrils of a bleached eucalyptus pulp by mechanical fibrillation. **Cellulose**, v. 19, n. 5, p. 1631-1643, 2012.
56. WATKINS, D.; NURUDDIN, M.; HOSUR, M.; TCHERBI-NARTEH, A.; JEELANI, S. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 4, n. 1, p. 26-32, 2015.
57. YANG, W.; RALLINI, M.; NATALI, M.; KENNY, J.; MA, P.; DONG, W.; TORRE, L.; PUGLIA, D. Preparation and properties of adhesives based on phenolic resin containing lignin micro and nanoparticles: a comparative study. **Materials & Design**, v. 161, p. 55-63, 2019.
58. YEARLA, S. R.; PADMASREE, K. Preparation and characterisation of lignin nanoparticles: evaluation of their potential as antioxidants and UV protectants. **Journal of Experimental Nanoscience**, v. 11, n. 4, p. 289-302, 2016.
59. ZANATTA, E. R.; REINEH, T. O.; SILVA, E. A.; SANTOS, J. B.; GNOATO, E. Estudo cinético de decomposição térmica da lignina. **Cascavel**, v.6, n.2, p. 31-37, 201.

“

Painéis LVL de guapuruvu
(*Schizolobium Parahyba* (Vell.)
Blake)

┃ Julia Carolina **Athanázio-Heliodoro**
FCA - UNESP

┃ Hernando Alfonso **Lara-Palma**
FCA – UNESP

┃ Adriano Wagner **Ballarin**
FCA – UNESP

RESUMO

A demanda por toras de grandes diâmetros tem motivado a busca por material alternativo aos tradicionais. Dentre as espécies nativas, o *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, guapuruvu releva potencial. Devido à sua baixa densidade, a utilização desta madeira oferece um leque maior de usos potenciais como produção de lâminas e produtos reconstituídos. **Objetivo:** Avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis LVL de guapuruvu, em dimensões comerciais, a partir da determinação das propriedades físico-mecânicas dos painéis. **Métodos:** As lâminas utilizadas foram provenientes de plantios de restauração da Mata Atlântica, em Botucatu-SP, com 16 anos de idade. Foram produzidos painéis LVL com 17 lâminas de 2,5 mm de espessura nominal. Os painéis foram feitos com 42,5 mm de espessura, 1200 mm de largura e 2400 mm de comprimento. Os ensaios seguiram as recomendações das normas ASTM. **Resultados:** A umidade média dos painéis foi de 10% e a densidade aparente de 411 kg/m³, superior em 41,8% a igual parâmetro avaliado para as lâminas originais (290 kg/m³), indicando densificação dos painéis. Os valores médios do MOE e MOR para flexão estática nos ensaios de maior e menor inércia foram 8988 MPa e 52,66 MPa e 6402 MPa e 62,57 MPa, respectivamente. A densidade apresentou coeficiente de variação baixo indicando boa homogeneidade dos painéis. **Conclusão:** Os resultados mostraram que estes painéis se enquadram na categoria de qualidade 1.5E-2250F sugerida pela APA EWS PRL-50. Apesar da baixa densidade aparente da madeira de guapuruvu, a produção de painéis LVL é tecnicamente viável, visto que seu desempenho alcançou resultados semelhantes aos de LVLs de paricá e pinus.

Palavras-chave: LVL, Guapuruvu, Propriedades Mecânicas, Paineis de Madeira.

INTRODUÇÃO

A atual demanda de madeira no mercado mundial e a baixa oferta de madeira serrada proveniente de árvores de grandes diâmetros no país implica na procura por materiais alternativos que possam desempenhar o mesmo papel, com qualidade. Neste contexto, a indústria vem produzindo cada vez mais produtos à base de madeira que são uma alternativa para diminuir a exploração das florestas nativas, provendo ao mercado painéis de diferentes dimensões para usos industriais e estruturais de alta qualidade, homogeneidade e isotropia dimensional em relação às suas propriedades mecânicas e de retratibilidade.

Dentro dos diversos tipos de produtos de madeira reconstituída estão os painéis laminados, como o compensado, já consagrado e o LVL (*laminated veneer lumber*), ainda não produzido comercialmente no Brasil, mas que vem crescendo em todo o mundo. É um produto de alta resistência, muito usado na construção civil, como em vigas de grandes dimensões e tende a substituir alguns produtos de madeira serrada e painéis à base de madeira, tais como: OSB, MDF e compensados.

Por outro lado, com o início dos plantios comerciais de paricá (*Schizolobium amazonicum*) na região norte, o mercado de compensado tropical tem apresentado acenos positivos no sentido de buscar novas alternativas de matéria-prima para a produção de compensados leves para uso na construção civil, confecção de móveis e lâminas para revestimentos de paredes internas de casas de madeira. Essa espécie é do mesmo gênero que o guapuruvu, apresentando características semelhantes, tais como: rápido crescimento, tronco retilíneo, baixa densidade, boa trabalhabilidade e baixa presença de nós. Características que são interessantes do ponto de vista tecnológico, visando à produção de laminados.

A espécie *Schizolobium parayba* conhecida como guapuruvu, vem sendo usada em plantios de regeneração natural para efeito ecológico. Entretanto é reconhecida entre os pesquisadores como uma espécie de rápido desenvolvimento e boa produtividade. Segundo a EMBRAPA (1988), em plantios experimentais, o guapuruvu impressiona pelo rápido crescimento inicial, forma das plantas e principalmente por seu alto incremento médio anual.

O guapuruvu é uma espécie nativa de florestas de região litorânea, possui área natural de distribuição desde o sul do estado da Bahia até o Rio Grande do Sul. É uma espécie característica da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), principalmente na planície aluvial (Floresta Ombrófila Densa Aluvial) e do início de encostas (Floresta Ombrófila Densa Submontanha), onde ocupa o dossel superior da floresta (BIGARELLA, 1978).

O LVL é um painel engenheirado, composto de lâminas de madeira orientadas na mesma direção e unidas por adesivo, utilizado com grande versatilidade em soluções, principalmente estruturais e industriais onde uma boa resistência à flexão é requerida.

Comparado com a madeira serrada, o LVL pode oferecer um espectro maior de dimensões, com espessuras médias variando de 21 mm a 150 mm, larguras de 100 mm a

1800 mm e comprimentos de 2500 mm a 25000 mm, quando montados de forma contínua (ENGINEERED WOOD SYSTEMS - APAEWS, 2000; RAUTE ENGINEERED WOOD, 1980; TAMMELA, 1998; LVL, 1999; BRIONES, 2007). É fabricado principalmente a partir de madeiras de coníferas, com predominância de pinus. Hoje, com a diminuição a nível mundial da oferta de madeira de grandes diâmetros vinda de florestas nativas, seja por razões ecológicas ou pelo esgotamento devido à exploração indiscriminada, as indústrias de laminados têm optado por espécies oriundas de reflorestamentos, como pinus, eucaliptos e populus. Destaca-se neste sentido o trabalho de revisão bibliográfica sobre a utilização de folhosas para a produção de LVL, realizado por Ozarska (1999).

Os processos de produção de LVL utilizam procedimentos semelhantes àqueles da manufatura de compensado, com lâminas de espessuras entre 2,5 mm e 3,5 mm obtidas em torno desfolhador que depois de secas recebem a aplicação de adesivo. Os LVL são montados na espessura desejada e consolidados em prensa quente. O processo de produção descontínua (convencional) possui a vantagem de poder facilmente ser implantado nas fábricas de compensados normais já instaladas, necessitando-se, para isso, de pequenas alterações em sua estrutura original (LAUFENBERG, 1983; TAMMELA, 1998).

Portanto, o conhecimento das propriedades básicas (físicas e mecânicas) de produtos à base de madeira, faz-se indispensável, visando principalmente um subsídio a potenciais usuários de produtos laminados, para seu emprego correto em diferentes soluções estruturais ou não estruturais.

OBJETIVO

Avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis LVL de guapuruvu, em dimensões comerciais, a partir da determinação das propriedades físico-mecânicas dos painéis.

MÉTODOS

Matéria-prima

Neste estudo foram utilizadas lâminas de 2,5 mm de espessura nominal e 290 kg/m³ de densidade aparente, provenientes de seis árvores de guapuruvu (*Schizolobium parayba*) retiradas de plantios de 16 anos de idade do projeto “Restauração da Mata Atlântica em Sítios Degradados no Estado de São Paulo - Brasil”, localizados em áreas experimentais do campus da Universidade Estadual Paulista (UNESP) no município de Botucatu, SP.

Produção dos painéis LVL

Foram confeccionados três painéis LVL, compostos de 17 lâminas, de dimensões comerciais de 1200 mm de largura, 2400 mm de comprimento e 42,5 mm de espessura. O processo de laminação e a fabricação dos painéis foi realizada na Indústria de Compensados Caribea S.A. de São Manuel, SP.

Os painéis foram montados de forma não homogênea, com lâminas selecionadas aleatoriamente. As variáveis do processo de fabricação dos painéis foram escolhidas levando-se em consideração a experiência operacional da indústria, bem como as recomendações do fabricante da resina utilizada. Assim, o adesivo utilizado foi à base de resina fenol-formaldeído (RM-800 da MARBOW Resinas), com gramatura da cola 350 g/m² por linha dupla de colagem, umidade das lâminas 4 a 6%, pré-prensagem de 30 minutos e prensagem a 130°C e pressão de 12 kgf/cm². O tempo de prensagem foi calculado considerando 1 minuto para cada milímetro de espessura nominal do painel.

Ensaio dos painéis LVL

A avaliação do desempenho dos painéis LVL foi conduzida através de ensaios físicos e mecânicos em corpos-de-prova a partir deles confeccionados, atendendo-se no geral às prescrições da norma ASTM-D 5456/4761 e método ASTM-D 198. Foram analisadas as propriedades de flexão estática na condição de menor inércia (*flatwise*) e de maior inércia (*edgewise*). Foram confeccionados 6 corpos-de-prova de cada painel e de cada ensaio, perfazendo um total de 24 corpos-de-prova (12 de *flatwise* e 12 de *edgewise*). Foi determinada também neste estudo a densidade aparente das lâminas, dos painéis LVL e dos corpos-de-prova de flexão estática. Os ensaios nos corpos-de-prova de flexão (*flatwise*) foram realizados na Máquina Universal de Ensaio EMIC DL 10000 MF.

Os ensaios nos corpos-de-prova de flexão (*edgewise*) foram executados em um pórtico de ensaios desenvolvido no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, com capacidade de 10 tf, fabricado pela Skay Ltda. (Figura 1). O pórtico de ensaios foi composto por quadro resistente, célula de carga de 10 tf da MSI – Micro Sensores Industrial Ltda., vigas de reação e de carregamento, roletes, contraventamentos laterais, dispositivos de apoio e medidor de deformação digital com sensibilidade de 0,01 mm.

Os ensaios foram realizados com cargas “aplicadas nos terços” (cargas aplicadas nos limites do terço médio do vão), relação vão/altura igual a 18 e velocidade de carregamento de 280 kgf/min, levando as peças à ruptura em torno de 10 a 15 minutos.

Os testes de densidade e umidade atenderam, respectivamente, os métodos ASTM-D 2395 e ASTM-D 4442, ambos os ensaios com corpos de prova de dimensões nominais de 35 mm de altura (espessura do painel), 100 mm de largura e 5 mm de comprimento.

Figura 1. Ensaio de flexão estática em relação ao eixo de maior inércia – *edgewise*. a) Pórtico de ensaio; b) Viga ensaiada.



RESULTADOS

Os dados apresentados para os diferentes ensaios correspondem aos dois primeiros painéis fabricados, já que o terceiro painel foi descartado por apresentar defeitos de delaminação.

Densidade aparente dos painéis

A densidade aparente dos painéis variou de 384 kg/m³ a 446 kg/m³ com média de 411 kg/m³ e coeficiente de variação de 4,23% (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade aparente e umidade dos painéis LVL.

Painel	C.P.	Densidade aparente (kg/m ³)	Umidade (%)
1	1	404,40	10,02
	2	424,50	10,16
	3	420,40	10,00
	4	412,90	10,18
	5	426,00	10,06
	6	446,60	10,32
2	1	384,90	10,36
	2	401,40	9,69
	3	400,90	9,98
	4	416,00	9,82
	5	386,20	10,07
	6	412,80	10,10
Média		411,42	10,06
Máximo		446,60	10,36
Mínimo		384,90	9,69
Desvio padrão		17,39	0,19
C.V. (%)		4,23	1,87

Resistência à flexão

Os valores médios do módulo de elasticidade e da resistência à flexão estática para os ensaios de maior (*edgewise*) e menor (*flatwise*) inércia foram de 8988 MPa e 52,66 MPa e 6402 MPa e 62,57 MPa, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Flexão *flatwise* e *edgewise* dos painéis LVL

Painel	C.P.	Flatwise (MPa)		Edgewise (MPa)	
		f_M	E_d	f_M	E_d
1	1	39,32	5932	51,87	8319
	2	59,28	5821	55,97	9286
	3	57,00	6683	57,06	9343
	4	63,53	6403	52,22	8252
	5	67,61	6615	49,19	8865
	6	70,38	6729	56,13	8744
2	1	39,51	4725	50,48	11219
	2	65,58	6413	51,89	9813
	3	67,92	6825	51,80	8620
	4	72,98	6758	54,24	7995
	5	71,95	7075	49,54	8668
	6	75,75	6845	51,57	8732
Média		62,57	6402	52,66	8988
Máximo		75,75	7075	57,06	11219
Mínimo		39,32	4725	49,19	7995
Desvio padrão		12,10	643,64	2,61	864,77
C.V. (%)		19,33	10,05	4,95	9,62

DISCUSSÃO

Densidade aparente dos painéis

Os painéis LVL estudados ($\rho_{ap} = 411 \text{ kg/m}^3$) apresentaram densidade aparente média superior em 41,9% a igual parâmetro avaliado para as lâminas originais ($\rho_{ap,média} = 290 \text{ kg/m}^3$). Esta diferença indica uma densificação dos painéis durante o processo de fabricação.

A densidade final de um painel laminado como o compensado e o LVL depende da densidade da espécie utilizada, da predominância de lenho inicial e tardio que apresentam as lâminas, da maior porcentagem de madeira juvenil, da umidade e pressão e temperatura usadas na fabricação. A grande retração encontrada neste estudo deve-se, em grande parte, à baixa densidade da madeira. Assim, pesquisas futuras sobre a influência da pressão e temperatura de prensagem devem ser realizadas.

O valor médio encontrado neste estudo foi próximo aos resultados médios reportados na literatura por outros autores quando foram utilizadas lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum*), provenientes de florestas plantadas e utilizadas na produção painéis LVL de dimensões laboratoriais. Por exemplo, a densidade média de 439 kg/m^3 foi encontrada em painéis LVL fabricados com 8 lâminas de 2,71 mm de espessura cada (MELO, 2012). Iwakiri, et al. (2010) trabalhando com painéis LVL fabricados com 7 lâminas de 2,0 mm de espessura cada, encontraram valores de densidade aparente média de 404 kg/m^3 .

Resistência à flexão

Apesar da baixa densidade aparente da madeira de guapuruvu (336 kg/m³ – ATHANÁZIO-HELIODORO, 2014), os coeficientes de variação dos resultados observados foram considerados baixos. Foram calculados valores de 4,95% para a resistência e 9,62% para a rigidez na direção *edgewise*. Na direção *flatwise* os valores foram de 19,33% e 10,05% para resistência e rigidez, respectivamente, revelando uma boa homogeneidade de desempenho, considerando que a confecção dos painéis foi de forma aleatória e sem classificação das lâminas.

A maior variabilidade (19,33%) apresentada na resistência *flatwise*, deve-se provavelmente à contribuição das lâminas na posição mais resistente no arranjo do painel. Na situação de flexão na posição de menor inércia (flexão *flatwise*) a resistência da viga obtida do painel é condicionada à qualidade da lâmina mais tracionada no ensaio (lâmina da face do painel). Nem sempre a lâmina mais tracionada apresenta uma maior resistência, pois pode ser proveniente de uma região de menor densidade ou de menor qualidade (madeira juvenil), etc. Na situação de flexão na posição de maior inércia (flexão *edgewise*), a resistência da viga é condicionada por um somatório de contribuições de todas as lâminas do painel.

Os painéis obtiveram, ainda, desempenho que superaram em até 54% os de sua madeira sólida (fM guapuruvu = 40,47 Mpa - ATHANÁZIO-HELIODORO, 2014).

Comparando os resultados deste estudo com outras pesquisas com painéis LVL nacionais e internacionais que os valores médios do módulo de elasticidade à flexão estática *edgewise* dos painéis de guapuruvu foram sensivelmente inferiores aos painéis LVL fabricados com madeira de coníferas. A resistência dos painéis apresentou um bom desempenho, sendo em média semelhante e até maior em alguns casos aos valores dos painéis confeccionados com Pinus, Soutern-Pine e Douglas-fir. O módulo de elasticidade *flatwise* dos painéis da pesquisa foram inferiores aos valores médios observados nos painéis de madeira de coníferas e a resistência nesta mesma condição foi superior em relação a alguns painéis e pouco inferior em relação a outros (*P. mercusii* e *P. oocarpa*). Estes resultados evidenciam um bom desempenho dos painéis de guapuruvu, quando consideramos a baixa densidade da madeira de guapuruvu e de seus painéis, que são relacionadas positivamente com as propriedades mecânicas (Tabela 3).

Nesta tabela, constata-se ainda que os painéis LVL fabricados com lâminas de guapuruvu, apesar de ter obtido bons resultados nos testes mecânicos, tem uma das menores densidades médias entres os valores encontrados nos demais estudos – com exceção da madeira de paricá – sendo até 33% menor que a densidade média dos painéis apresentados na comparação e ainda assim apresentou valores de rigidez (*flatwise*) superiores à média.

Tabela 3. Valores médios comparativos de resistência e módulo de elasticidade à flexão estática de painéis LVL da literatura e os obtidos neste estudo.

Valores médios de painéis LVL (MPa)								
		USA ¹				Chile ²	Brasil ³	Brasil ⁴
		<i>Southern pine</i>		<i>Douglas-fir</i>		<i>Pinus</i>	<i>Pinus</i>	<i>Pinus</i>
		MA	MJ	MA	MJ	<i>radiata</i>	<i>mercurii</i>	<i>oocarpa</i>
Flexão (<i>edgewise</i>)	E _{M0,e}	11997	9239	10963	8963	10070	13648	16160
	f _{M,e}	63,50	51,92	44,47	37,92	51,75	-	93
Flexão (<i>flatwise</i>)	E _{M0,f}	11721	8756	11032	8963	9179	14993	16169
	f _{M,f}	59,16	47,85	39,44	33,78	57,96	92,97	85
Densidade painel	kg/m ³	590*	590*	500*	450*	458**	618*	717*
		Brasil ⁵	Brasil ⁶	Brasil ⁷	Brasil ⁸	Chile ⁹	Uruguai ¹⁰	Pesquisa ¹¹
		<i>S. amazonicum</i>	<i>S. amazonicum</i>	<i>E. grandis</i>	<i>P. taeda</i>	<i>E. nitens</i>	<i>E. grandis</i>	<i>S. parahyba</i>
Flexão (<i>edgewise</i>)	E _{M0,e}	7656	20102	15871	10292	11975	11200	8988
	f _{M,e}	49,28	74,45	88,63	54,68	65,17	96,40	52,66
Flexão (<i>flatwise</i>)	E _{M0,f}	8301	5157	13114	9379	10996	6140	6402
	f _{M,f}	51,87	26,40	88,76	59,32	81,48	72,40	62,57
Densidade painel	kg/m ³	439*	404*	672*	597*	575**	680*	411*

¹Kretschmann *et al.* (1993); ²Guzmán e Hernández (2007); ³Bortoletto Junior (2009); ⁴Souza (2009); ⁵Melo *et al.* (2012); ⁶Iwakiri *et al.* (2010); ⁷Rocha e Lara Palma (2009); ⁸Abilio e Lara Palma (2008); ⁹Guzman e Hernandez (2007); ¹⁰Benites (2005); f_{M,e} - resistência à flexão estática na direção longitudinal (*edgewise*); f_{M,f} - resistência à flexão estática na direção longitudinal (*flatwise*); E_{M,f} - módulo de elasticidade à flexão estática na direção longitudinal (*flatwise*); E_{M,e} - módulo de elasticidade à flexão estática na direção longitudinal (*edgewise*); * Densidade aparente painéis LVL em kg/m³ (U = 10-12%); ** Densidade básica painéis LVL em kg/m³; ¹¹Valores médios da pesquisa apresentada.

CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da baixa densidade aparente da madeira de guapuruvu, a produção de painéis LVL é tecnicamente viável, visto que sua performance alcançou resultados que superaram os de sua madeira sólida, estando a nível de comparação com LVLs de paricá e pinus, com baixos coeficientes de variação mostrando a homogeneidade os painéis. Todos eles apresentaram densidade aparente maior que a encontrada para as lâminas e os resultados de resistência à flexão e modulo de elasticidade demonstraram que a produção de painéis LVL é tecnicamente viável, inclusive utilizando-se os mesmos equipamentos e variáveis gerais do processo de fabricação de compensados, visto que sua performance alcançou resultados de bom desempenho quando comparados com painéis de maior densidade fabricados com madeiras de coníferas e eucaliptos. Além disso, o produto se encaixou na categoria de qualidade 1.5E-2250F, a primeira sugerida pela APA EWS PRL-501, nos Estados Unidos. Ainda assim é importante a continuidade dos trabalhos e desenvolvimento de pesquisas

com painéis confeccionados com lâminas classificadas previamente por sua rigidez, para se obter produtos com melhor desempenho estrutural.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa, à Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP) e à Indústria de Compensados Caribea.

■ REFERÊNCIAS

1. ABILIO, F. M.; LARA PALMA, H. A. desempenho físico e mecânico de painéis LVL de *Pinus taeda* L. – Estudos de arranjos industriais. Relatório Científico Iniciação Científica, FAPESP. 2008, 85p.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 198. - Standard methods of static tests of lumber in structural sizes.** Philadelphia: PA, 1996.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 2395 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials.** Philadelphia: PA, 1996.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 4442 - Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials.** Philadelphia: PA, 1996.
5. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 4761 - Standard test methods for mechanical properties of lumber and wood-base structural material.** Philadelphia: PA, 1996.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 5456 - Standard specification for evaluation of structural composite lumber products.** Philadelphia: PA, 1996.
7. ATHANÁZIO-HELIODORO, J. C. Qualidade da madeira de árvores de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (vell.) Blake) com 15 anos provenientes de área de recuperação florestal. **Anais.** XIV EBRAMEM. Natal – RN. 2014.
8. BENITES, L. Características de madeira de chapas laminadas (LVL) de plantaciones de rápido crecimiento del Uruguay - *Eucalyptus grandis*, *Populus* spp., *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*. *Nota Técnica*, n. 3 - LATU (Laboratorio Tecnológico del Uruguay), 2005. 5p.
9. BIGGARELLA, J. J. Aspectos florísticos. In BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná.** Curitiba: SEPL-Adea, 1978. p. 57-58.
10. BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas da madeira e do LVL de *Pinus merkusii*. **Revista Forestal Venezolana**, Merida, v. 53, n. 2, p. 191-195, 2009.
11. BRIONES V. R. LVL: antecedentes generales del producto. In: LVL vigas de chapas laminadas confeccionadas com *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens*. **Concepción: INFOR**, 2007. cap. 1, p.1-11. (Informe Técnico, n. 172).

“ Performance of a small eucalypt log sawmill: work productivity, operational efficiency and lumber yield

┆ Fernando Moreli **Salvador**
DCFM/CCAUE/UFES

┆ Felipe da Silva **Gomes**
DCFM/CCAUE/UFES

┆ João Gabriel Missia da **Silva**
DCFM/CCAUE/UFES

┆ Djeison Cesar **Batista**
DCFM/CCAUE/UFES

ABSTRACT

Sawmills are components of the wood industry worldwide. The presence of sawmills processing small *Eucalyptus* spp. logs from planted forests has been increasing in countries of the Southern Hemisphere, such as Argentina, Brazil, Chile, South Africa and Uruguay. The general aim of this work was to evaluate the operational performance of a small *Eucalyptus* spp. log sawmill according to its work productivity, operational efficiency and lumber yield. The secondary aim was to analyze the influence of the substitution of the resaw on the lumber yield. The sawmill is located in the state of Espírito Santo, Brazil, and mainly produces pallets for supermarkets. The productivity was assessed from Monday to Friday using the work sampling statistical technique. The operational efficiency was calculated based on the volume (m³) of processed logs/worker/day. For the lumber yield, two treatments (processing methods) were evaluated, using 20 logs per treatment: 1) vertical resaw bandsaw; 2) substitution by a double arbor circular gang saw (multirip). The substitution of the resaw resulted in a significant increase of 8 percentage points in the lumber yield. Based on the results of yield, work productivity and operational efficiency, the sawmill's performance was low, requiring corrective actions by the managers.

Keywords: Sawmilling, Resaw, *Eucalyptus* sp.

INTRODUCTION

According to the Brazilian Association of the Mechanical Wood Processing Industry (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2019), the Brazilian timber industry (except furniture) produces mainly lumber, secondary products (e.g., mouldings and flooring), prefabricated house components, veneers and plywood, produced by 53,107 companies in 2018. Of these, 37 % are located in the Southeast Region, 2.4% specifically in the state of Espírito Santo.

Although *Eucalyptus* spp. account for the largest area of planted forests in Brazil, with 5.67 million hectares, this wood is not the main raw material handled by sawmills, instead of being consumed mainly for producing pulp and paper and charcoal, besides use as industrial firewood. On the other hand, wood of *Pinus* spp. is the main raw material in the Brazilian timber industry (including sawmills), representing a total of 82% of all raw material in this segment, whereas *Eucalyptus* spp. wood represents just 17 % (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2019).

According to data from the Center for Agribusiness Development (CENTRO PARA O DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO, 2011), sawmills in the state of Espírito Santo almost exclusively process *Eucalyptus* spp. wood, unlike the national pattern. However, most sawmills in Espírito Santo are small operators, according to the Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2019) classification: family businesses, low technological level, raw material not managed for sawing, and no use of artificial drying.

Regarding the evaluation of sawmills, lumber yield is one of the most important aspects because it expresses the conversion of logs into lumber, and by deduction, the revenue obtained and volume of waste generated (slabs, edgings, trimmings and sawdust). Many factors influence the yield, although research has focused mainly on the log diameter (with sorting in diametric classes) and sawing pattern (CUNHA et al., 2015; CUNHA et al., 2016; FERREIRA et al., 2004; JUIZO et al., 2014; MELO et al., 2016; MURARA JUNIOR et al., 2013). Other factors regarding the raw material, such as log taper and length, have also been studied (BONATO JUNIOR et al., 2017; HORNBERG et al., 2012).

Machinery is also an influencing factor, but it has been little addressed, especially concerning the type of saw blade (MELO et al., 2016). For the same operating conditions, circular saws are expected to produce more sawdust than bandsaws, because of the greater kerf, negatively impacting yield (LEITZ 2020; TSOUMIS 1991; WINTERSTEIGER, 2020).

Work productivity and operational efficiency are also parameters for analyzing the performance of sawmills, but they have been less used than lumber yield (ABREU et al., 2005; BATISTA; CARVALHO, 2007; BATISTA et al., 2015; BATISTA et al., 2013). This is explained by the fact they are time-consuming to analyze, resulting in higher costs. However, they have

advantages, especially for diagnosing the company's production mode to indicate corrective actions to increase productivity and improve the use of manpower and machinery.

OBJECTIVES

The general aim of this work was to evaluate the operational performance of a small *Eucalyptus* spp. log sawmill according to the work productivity, operational efficiency and lumber yield. The secondary aim was to analyze the influence of the substitution of the resaw on the lumber yield.

METHODS

Sawmill characterization

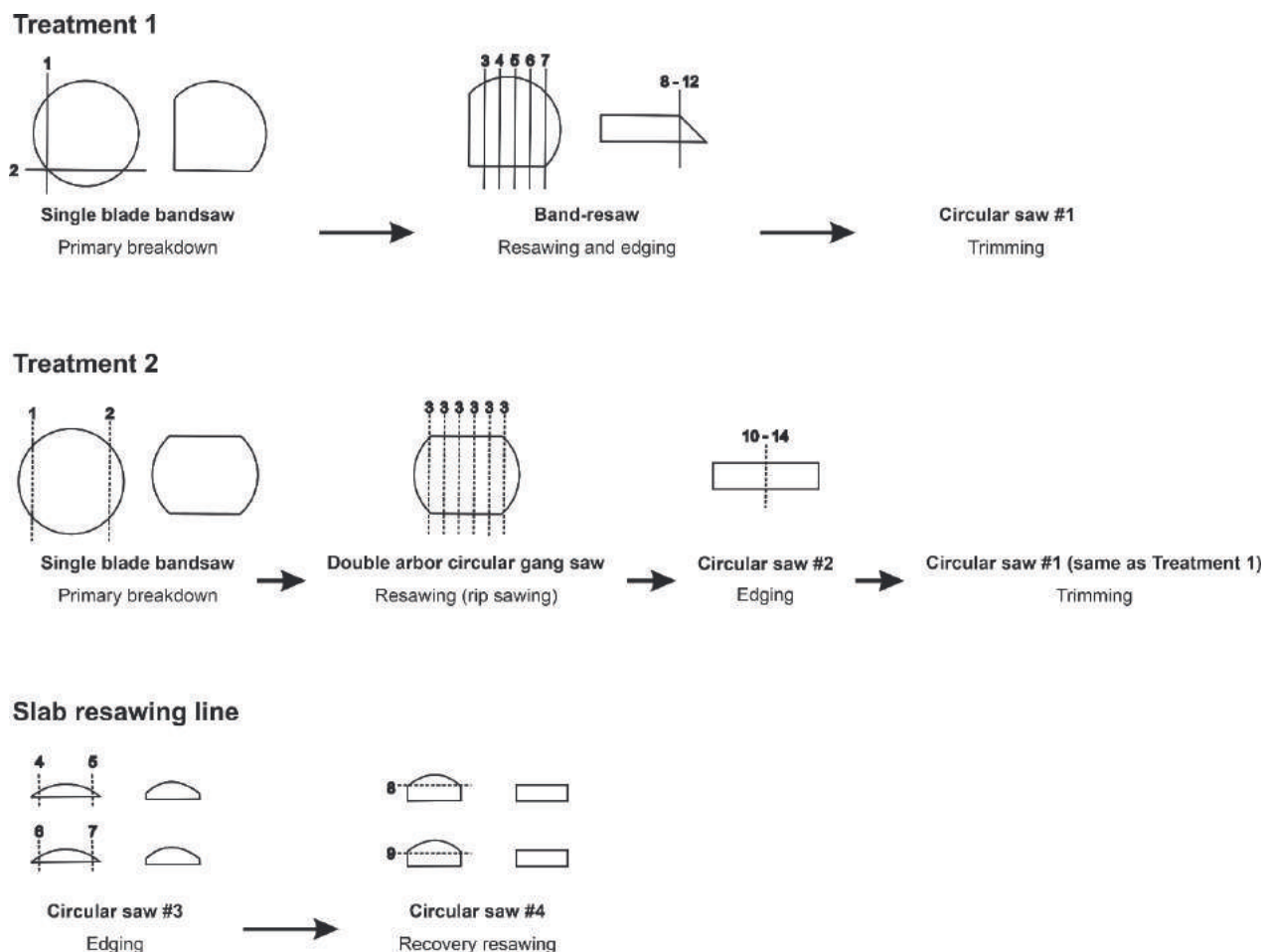
The study was carried out in a small *Eucalyptus* sp. log sawmill located in the municipality of Ibirapu, state of Espírito Santo, Brazil. The logs were supplied by planted forest operators and ranged from 15 to 20 cm in diameter and 1.9 and 2.6 m in length, with no sorting into diametric classes.

The production line had eight workers and the logs were handled manually (no conveyors or other automation). Some machines were connected to the exhaust system for the removal of sawdust, but the slabs, edgings and trimmings were sorted manually for later chipping. The company produces mainly pallets for supermarkets.

Lumber yield

The lumber yield was evaluated according to two treatments, as described in Figure 1: a) Treatment 1 – original configuration, with a band-resaw, unidentified brand, model and manufacturing year, 800 mm wheels, blade of 100 x 1 x 5,700 mm (width, kerf and length), a 20 HP motor; and b) Treatment 2 – replacement of the band-resaw by a double arbour circular gang saw (multirip), Vantec (Xanxerê, Brazil), model SCM200, manufactured in 2012, with eight saw blades (350 mm diameter, 4.5 mm kerf) per arbour, a lower motor of 100 HP and upper motor of 75 HP. During this test, the multirip was provisionally installed in a position parallel to the productive layout. In both treatments, the resawing of cants was analyzed. It is noteworthy that the band-resaw is a machine designed to resaw large slabs, specifically from tropical wood. However, this machine was adapted for cant resawing and board edging. Resawing the slabs (Figure 1) was equal for both treatments.

Figure 1. Representation of the company's production layout in the two treatments evaluated, with their respective sawing patterns



During the evaluation, the company was producing slats with nominal dimensions of 15 x 43 mm and variable length (according to the log), for one of the pallet models, according to the sawing patterns shown in Figure 1. Forty logs from the storage yard were measured, 20 for each treatment, representative of those commonly processed by the company. These logs had no top cracks to negatively influence the yield. The debarked volume of the logs, the lumber volume and the yield were determined according to the method of Batista and Carvalho (2007). The logs' taper was calculated according to the method of the Brazilian Institute for Forestry Development (INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL, 1984). Since the company does not use slats for pallet production with wane longer than 50% of length, these slats were disregarded in the yield calculation. To compare the lumber yield between treatments, Student's t-test was used at a significance level of 5%.

Work productivity and operational efficiency

Work productivity and operational efficiency were assessed according to methods reported in the literature for other small log sawmills (ABREU et al., 2005; BATISTA; CARVALHO,

2007; BATISTA et al., 2013; BATISTA et al., 2015). The company allowed us to report only the results for Treatment 1.

The work sampling method was the statistical technique used to quantify the ratio of productive work and idle work. The data collection consisted of systematic sampling, by direct observation of the activities performed by the manpower-machine set, every two minutes, during the working hours (nine hours). The activities were classified as working time and idle time, in which the former was obtained by deducting 100 % from the latter. The idle time was subdivided into nonproductive work, delays and idleness, and was quantified as a percentage of the total observations classified as idle time. The production was evaluated for five consecutive days (Monday to Friday), in the morning and afternoon shifts, always analyzing the same workers.

The sawmill's operational efficiency (m³/worker/day) was assessed concurrently with the work sampling method. The number of logs processed by the headrig per shift was registered and then multiplied by the mean log volume, according to the measurements to determine lumber yield.

RESULTS

The results of the lumber yield analysis are shown in Table 1.

Table 1. Lumber yield statistics

Variable	Treatment 1	Treatment 2
Log diameter (cm)	15.2 (11.0)	16.8 (12.2)
Log taper (%)	0.59 (48.7)	0.55 (71.3)
Lumber yield (%)	33.3 (15.5)	41.1 (15.4)

Numbers in parentheses are the coefficient of variation (%).

For a proper comparison of the effect of the resaw machine on the lumber yield, the log diameter, log taper and lumber dimensions needed to be homogeneous for both treatments, so as not to bias the results. The logs' diameters were homogeneous because the difference (1.6 cm) between treatments was within the ranges commonly used for sorting reforestation logs into diametric classes (2 to 3 cm). The logs' tapers of both treatments were smaller than 1% and had the best classification (superior), according to criteria established by the Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1984). Regarding the dimensions of the products, in both treatments, the lumber was the same (slats), according to the classification of standard NBR 14807 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002).

According to the statistics F_c (0.40) and t_c (0.0002*) of the yield data, the variances of the treatments were homogeneous and there was a significant difference between their means (95 % probability). The results of operational efficiency and work productivity shown in Figures 2 and 3, respectively. On Monday the production line had eight workers and on the other days only seven, by order of the manager. According to the work sampling method, working time was considered whenever, during the systematic sampling, at least one of the machines produced lumber.

Figure 2. Treatment 1: results of the sawmill's operational efficiency

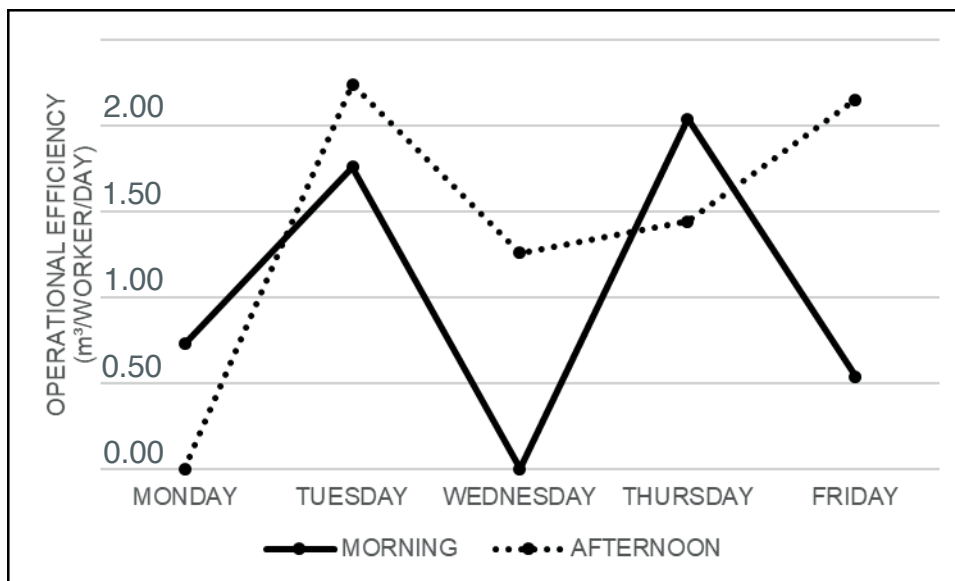
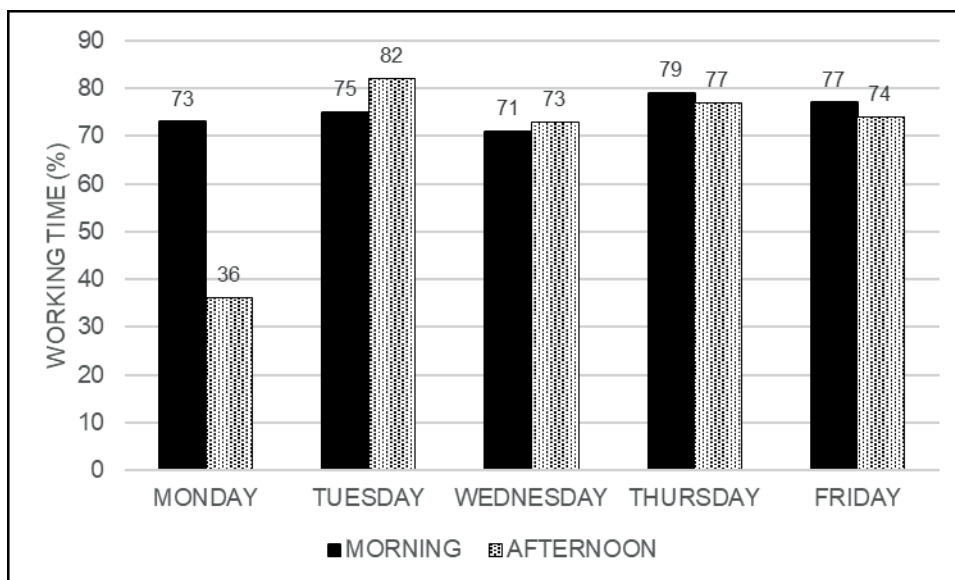


Figure 3. Treatment 1: results of the sawmill's productive work



The mean operational efficiency (Figure 2) of the sawmill was 2.43 m³/worker/day, ranging from 0.73 m³/worker/day (Monday) to 4.00 m³/worker/day (Tuesday), figures that can be considered below the mean for its technological level in comparison with reference data from the literature (ROCHA, 2002). Working time was predominant concerning idle time (Figure

3), representing 72 % (mean) of the daily working hours, but did not reach the minimum of 75 % established by Martins and Laugeni (2003). However, excluding the Monday afternoon shift from the assessment, the mean productive work would be equal to 76 %, exceeding the referred target. Likewise, the mean operational efficiency of the sawmill would be greater, 2.86 m³/worker/day, when this shift is excluded from the analysis.

Operational efficiency was zero on Monday afternoon because of a power outage during part of this shift, caused by a natural phenomenon. Even after power restoration, the company's management decided to redirect the workers from the headrig to functions other than lumber production. Hence, the workers in charge of the band-resaw processed the accumulated slabs in the morning shift. That is why, even with zero operational efficiency (Figure 2), there was productive work (Figure 3), although it had low value (36 %) because of the long idleness (Table 2).

The idle time was calculated by deducting 100% from the working time, and Table 2 presents its subdivisions into nonproductive work, delays and idleness, according to the classification described by Abreu et al. (2005).

Table 2. Treatment 1: subdivisions of idle time

Days	Mean idle time (%)	Nonproductive work (%)	Delays (%)	Idleness (%)
Monday	45	21	10	69
Tuesday	21	69	7	24
Wednesday	28	36	54	10
Thursday	22	30	66	4
Friday	24	61	19	20
Mean	28	43	31	26

Tuesday was the day of highest operational efficiency (4.00 m³/worker/day) because the sawmill worked accumulating the slabs, that is, the headrig was used to the maximum, processing more logs on this day since no slab resawing occurred. It is noteworthy that the highest mean working time (79 %) and the shift with the highest absolute working time (82%, afternoon) occurred on this day. Tuesday's results can be interpreted as caused by the performance of the headrig and the band-resaw since they were the only machines evaluated.

Similar to Monday afternoon, operational efficiency was zero on Wednesday morning. In this shift, the sawmill only resawed the slabs produced the day before, and some of the workers performed functions other than lumber production. The productive work of this shift (71 %) can be interpreted as the performance of the line of slab resawing because the corresponding machines were the only ones evaluated. This operation continued for part of the afternoon shift, with the beginning of log breakdown afterwards, which resulted in low

operational efficiency (1.26 m³/worker/shift). On the other hand, the working time increased slightly (two percentage points).

The operations on Thursday and Friday were identical to those on Tuesday and Wednesday, respectively, and reflected how the company worked in the evaluated week: a) on one day, the headrig and the band-resaw operated; b) the next day, slab resawing occurred, after which situation “a” was repeated. Situation “a” was characterized by greater operational efficiency and working time.

The sawmill processed 358 logs (average) per day, ranging from 121 logs on Monday to 583 on Tuesday, resulting in a volume of 15.02168 m³ of logs per day, meaning it is a small sawmill. Even considering the day on which the largest volume of logs was processed, the sawmill’s classification would not change, as it would result in 24.46268 m³/day, below the 50 m³/day thresholds established by Rocha (2002).

The mean idle time was 28 %, and similar to the discussion of work productivity, it would be 24 % if Monday were excluded from the analysis. On average, nonproductive work activities were the most observed in the composition of idle time, followed by delays and idleness, with 43 %, 31 % and 26 %, respectively.

The events that contributed to nonproductive work were, in order of importance: i) log handling; ii) empty return of the headrig carriage; iii) corrective maintenance during production; iv) internal machinery set-up; and; v) exchange of blades of the headrig and band-resaw.

The activities that contributed to the delays were, in order of relevance: i) pause in the production process (allocation of workers to carry out other activities within the company) and; ii) clean-up and sawdust collection. Idleness was mainly characterized by i) operators’ personal needs; ii) electrical power outage, and iii) insufficient log supply.

DISCUSSION

According to the results of the yield comparison (Table 1), the mean lumber yield of Treatment 2 was higher than Treatment 1, because the new sawing pattern was more suitable for the production of slats, resulting in a greater proportion of slats with less than 50 % wane in length.

The mean yields were 33.3% in Treatment 1 and 41.1 % in Treatment 2, both of which are below expectations compared to the range of 45 % to 55 % considered normal for hardwoods (ROCHA, 2002). Three factors were mainly responsible for these results: i) the small diameter of the logs; ii) a large number of breakdown operations with the circular saw, which has thick kerf; and iii) the small dimensions of the slats, which require a large number of cuts, increasing the production of sawdust.

In a work by Ferreira et al. (2004), the mean yield of the clone with the smallest diameter (25.7 cm) of a hybrid of *Eucalyptus* sp. was equal to 50 %. The logs were broken down into boards with a nominal thickness of 30 mm, using a balanced live sawing pattern, parallel to the pith (split taper), edged to maximum width, and the slabs were resawn into slats. In this case, both the logs' diameter and the dimensions of the main product were larger than those in this study, resulting in higher yield.

In another sawmill that processed *Eucalyptus* sp. into 20 x 30 mm slats, the mean yield was 53.6 %, also higher than in this study. For this comparison, the effect of the product was weaker, because they were equivalent. However, the mean diameter of the thinnest end of the logs was 26.1 cm (BATISTA et al., 2015), greater than in this study.

The results presented here reflect the reality of many small sawmills that make pallets, which are products with low added value. To reduce manpower cost, which is among the biggest problems in the vision of sawmill entrepreneurs in Espírito Santo (CENTRO PARA O DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO, 2011), in many situations during the week, production lines are do not have sufficient workers to operate all machines simultaneously. Hence, the logs are not fully broken down, as in medium and large sawmills.

This is not the only problem that causes small sawmills to have low operational efficiency. Other factors are the lack of production planning and control; the use of a single-blade bandsaw as headrig for small logs of *Eucalyptus* sp.; and resawing of slabs, which is a low-productivity operation that requires the mobilization of at least two workers, all of which cause low lumber yield.

The adequacy of the machinery to the logs has a direct influence on operational efficiency. For comparison purposes, another small-log sawmill that processed *Eucalyptus* sp. presented mean operational efficiency of 4.96 m³/worker/day (BATISTA; CARVALHO, 2007), i.e., twice that found by us. The machinery of that sawmill was suitable for its logs (ranging from 13.2 cm to 27.3 cm), with a double arbour circular saw (two saw blades per arbour) as headrig for the production of one cant per log, followed by a multirip (similar to Treatment 2) for resawing the cants, and resawing the slabs in a line like in this study.

The log volume, dependent on the diameter, significantly influences the operational efficiency, since it is used as the numerator in the efficiency calculation equation. For example, a sawmill with the same machinery and technological level as in this work presented mean operational efficiency of 5.06 m³/worker/day (BATISTA et al., 2013). However, the diameter of the *Eucalyptus* spp. logs was larger (ranging from 10 to 40 cm).

The product is also an important factor since logs processed into larger products (which require fewer cuts) are processed more quickly. The sawmill evaluated by Batista et al. (2013)

also produced slats, but it produced larger pieces as well (boards and rafters, for example), positively influencing the operational efficiency.

The distribution of idle time in the sawmill was heterogeneous over the production days, in which idleness predominated on Monday, nonproductive work on Tuesday and Friday, while delays were more pronounced on Wednesday and Thursday. The mean idle time (28 %) was slightly less than the 30 % reported by Batista et al. (2015), who evaluated a similar sawmill in terms of raw material, machinery, technological level, manpower and product, which is also reflected in the similar operational efficiency between the two sawmills.

Even when compared to sawmills with significantly greater idle time, such as the one evaluated by Batista and Carvalho (2007), who reported 46 %, the operational efficiency was still lower. In these last two comparisons, the negative effect of the small diameter of the logs stands out regarding the sawmill analyzed here, along with the negative effect of the inadequate machinery for the raw material.

Analyzing the idle time activities, the causes of the low operational efficiency of the sawmill were: i) no log processing during the Monday afternoon shift, due to electrical power outage; ii) an insufficient number of workers on the production line, due to reallocation to other areas of the company, such as the operation of tractors; iii) frequent breakdowns in the exhaust system, which caused production stoppage to clean the resawing circular saw (resawing slab line); iv) worker idle time; v) use of a single blade bandsaw as headrig; and vi) inadequate use of the band-resaw for resawing the cants and edging the flitches into slats.

CONCLUSIONS

The replacement of the band-resaw by a multirip for resawing the cants resulted in a significant increase of eight percentage points in the lumber yield.

The sawmill's lumber yield was below average, regardless of the treatments analyzed, mainly influenced by the small diameter of the logs and the small dimensions of the lumber (slats).

The mean operational efficiency of the sawmill was lower than that of other companies with the same features, representing low productivity.

The mean working time was less than the minimum recommended by the literature, demanding corrective actions by the company.

Based on the performance metrics analyzed, the sawmill's performance was low.

■ REFERENCES

1. ABREU, F. de A.; LATORRACA, J.V. de F.; CARVALHO, A.M. de. Eficiência operacional de serra de fita: estudo de caso em duas serrarias de Paragominas, PA. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 12, n. 1, p. 44-49, 2005. Disponível em: <<https://www.floram.org/article/588e-220de710ab87018b461e/pdf/floram-12-1-44.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2019**: ano base 2018. Curitiba: ABIMCI/FNBF, 2019. 160 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14807**: Peças de madeira serrada – Dimensões. Rio de Janeiro, 2002. 2 p.
4. BATISTA, D. C.; CARVALHO, A. M. Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através de estudo de tempo, rendimento e eficiência. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 31-38, set. 2007. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr75/cap03.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
5. BATISTA, D.C.; SILVA, J.G.M. da; ANDRADE, W.S. de P.; VIDAURRE, G.B. Desempenho operacional de uma serraria de pequeno porte no do município de Alegre, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.45, n.3, p;487-496, jul./set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i3.34441>
6. BATISTA, D. C.; SILVA, J. G. M. da; CORTELETTI, R. B. Desempenho de uma serraria com base na eficiência e na amostragem do trabalho. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, p. 271-280, abr./jun. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.005>
7. BONATO JUNIOR, A.I.; ROCHA, M.P. da; JUIZO, C.G.F.; KLITZKE, R.J. Efeito do sistema de desdobro e das classes diamétricas no rendimento em madeira serrada de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.100414>
8. CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO. **Dimensionamento do mercado capixaba de produtos florestais madeiráveis**. Vitória: CEDAGRO, 2011. Relatório final. Disponível em: <<http://www.cedagro.org.br/artigos/final.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
9. CUNHA, A.B.; BRAND, M.A.; ALMEIDA, C.C.F. de; SOTHE, C.; MARTARELLO, M.P.; GORSKI, L. Rendimento em madeira serrada de *Cupressus lusitanica* Mill por meio do sistema de desdobro tangencial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 205-214, mar. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.20>
10. CUNHA, A.B.; FRANÇA, M.C.; ALMEIDA, C.C.F. de; GORSKI, L.; CRUZ, R.C. de; SANTOS, D. dos. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 241-250, abr./jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i2.32570>
11. FERREIRA, S.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C. da S.; TRUGILHO, P.F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 10-21, jan./jun. 2004. Disponível em: <<http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/356/299>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

12. HORNBERG, K.F.; ELEOTÉRIO, J.R.; BAGATTOLI, T.R.; NICOLETTI, A.L. Qualidade das toras e da madeira serrada de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaca, v. 40, n. 96, p. 463-471, dez. 2012. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr96/cap04.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
13. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019**. Brasília: IBÁ, 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-final.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2020.
14. INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Norma para a medição e classificação de toras de madeiras de folhosas**. Brasília, 1984.
15. JUIZO, C.G.F.; ROCHA, M.P. da; BILA, N.F. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n.4, out./dez. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.062213>
16. LEITZ. **Sawing**. Disponível em: <<http://lexicon.leitz.org/subgroups.php?id=980192&itemid=980192&pgid=980192&chash=9dc76f>>. Acesso em: 20 abr. 2020.
17. MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. **Administração da produção**. 7ª reimpressão. São Paulo: Saraiva, 2003. 445 p.
18. MELO, R.R. de; ROCHA, M.J.; RODOLFO JUNIOR, F.; STANGERLIN, D. M. Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará (*Qualea* sp.). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, out./dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1151>
19. MURARA JUNIOR, M.; ROCHA, M.P. da; TRUGILHO, P.F. Estimativa do rendimento em madeira serrada para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 4, p. 556-563, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.037>
20. ROCHA, M. P. **Tecnologia e planejamento em serrarias**. Edição revista e ampliada. Curitiba: FUPEF, 2002.
21. TSOUKIS, G.P. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991.
22. WINTERSTEIGER. **Resaw and log band saws**. Disponível em: <<https://www.wintersteiger.com/us/Wood-Thin-cutting-and-Repair/Saw-Blades/Product-Range-Saws/Band-Saw-Blades-for-wood-food-and-metal/124-Resaw-and-log-band-saws>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

“ Produção de biomassa e propriedades energéticas do *Eucalyptus benthamii* maiden et cambage

- ▮ Luciano Farinha **Watzlawick**
UNICENTRO
- ▮ Francielle Brandalise **Wionzek**
- ▮ Saulo Vinicius Küster da **Silva**
- ▮ Cristiane Carla **Benin**

RESUMO

Objetivo: avaliar a influência de diferentes espaçamentos na densidade básica da madeira, nas propriedades energéticas e na produção de biomassa de *Eucalyptus benthamii*.

Métodos: O experimento foi conduzido no município de Guarapuava-PR, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro tratamentos, que correspondem aos espaçamentos de plantio: 3 x 2m, 3 x 3m, 4 x 3m e 4 x 4m, em quatro repetições com 20 árvores cada. Foram obtidas pela equação de Sturges cinco classes diamétricas de maior frequência, totalizando uma amostragem de 60 árvores. Essas árvores foram cortadas e seus compartimentos madeira, casca, galhos e folhas pesados separadamente. As amostras de cada compartimento foram utilizadas para determinação da estimativa da biomassa seca, análise de poder calorífico, análise química imediata e densidade básica da madeira, seguindo determinações das Normas da ABNT. **Resultados:** não houve diferença significativa entre os espaçamentos para a análise química imediata, mas os compartimentos avaliados apresentaram diferenças para o teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Com relação ao poder calorífico superior, a maior média encontrada foi para galhos e folhas, com 4.731 kcal kg⁻¹ e não houve diferença estatística entre os espaçamentos. **Considerações finais:** A biomassa seca total estimada por hectare foi maior no espaçamento 3 x 2m com 184,16 Mg ha⁻¹. Para a densidade básica, a média encontrada foi de 0,500 g cm⁻³ e não foi observada diferença entre os espaçamentos, contudo, houve diferença significativa nas diferentes alturas ao longo do fuste. Para o poder calorífico superior, a maior média encontrada foi para galhos e folhas com 4.731 kcal kg⁻¹ e não houve diferença entre os espaçamentos. Para a análise química imediata, não houve diferença significativa entre os espaçamentos, mas os compartimentos avaliados apresentaram diferenças para o teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Florestas Energéticas, Bioenergia, Dendroenergia.

INTRODUÇÃO

O consumo mundial de combustíveis fósseis tem acarretado sérios problemas ambientais, principalmente, o aquecimento global, devido às emissões de gases do efeito estufa, os quais são gerados pela queima de combustíveis, como o petróleo, gás natural e carvão mineral. A utilização desses combustíveis deve ser minimizada com a substituição por fontes renováveis de energia, as quais são obtidas da natureza, de diversas maneiras e em grande quantidade, produzindo energia de maneira limpa e sustentável. Dentre as energias renováveis destacam-se a hidráulica, eólica, solar, maremotriz e biomassa. O uso dessas energias deve ser cada vez mais difundido e o conhecimento sobre as diferentes formas de se obter energia limpa, cada vez mais explorado.

No Brasil, a matriz energética é composta por combustíveis renováveis, sendo que a energia hidráulica é responsável por mais de 50% dessa matriz. O petróleo e seus derivados constituem uma pequena parcela da matriz energética brasileira. Outra fonte de energia renovável que tem se destacado no país é a energia de biomassa. A biomassa pode ser caracterizada por todo material vegetal e os resíduos gerados a partir da sua utilização podendo ser de origem florestal e de resíduos agrícolas, agroindustriais e urbanos.

A biomassa florestal corresponde a todo material orgânico encontrado em florestas e em resíduos de base florestal. Nas florestas, a biomassa pode ser obtida de diversos componentes das árvores: madeira, galhos, folhas, frutos e extrativos; já os resíduos de base florestal são caracterizados por serragem, refilo e casca. A partir desses resíduos pode-se obter também outras fontes de energia, como briquetes e pellets.

A biomassa florestal, em sua maioria, é originária de florestas plantadas ou energéticas, sendo que a implantação destas preserva as florestas nativas, melhoram a qualidade dos recursos hídricos e promovem a manutenção da fertilidade do solo, além de contribuir com o balanço neutro de emissões e fixação de gases poluentes, como o dióxido de carbono (BRAND, 2010; GARLIPP e FOELKEL, 2009).

A principal fonte de energia de biomassa florestal e mais consumida pelo homem é a lenha. Seu uso pode ser feito diretamente para queima em caldeiras ou atividades domésticas como aquecimento e cocção de alimentos. Muitas empresas ainda utilizam derivados do petróleo, como o óleo de baixo ponto de fluidez (BPF), para queima em caldeiras, portanto, faz-se necessário estudos de viabilidade econômica, ambiental e social da substituição desses combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, como a biomassa.

A maioria da biomassa florestal é retirada de florestas plantadas ou energéticas. Os plantios florestais são aqueles implantados pelo homem, com finalidade de aproveitamento de produtos madeireiros e não madeireiros. Já as florestas energéticas são aquelas implantadas com o objetivo exclusivo de produção de energia. Nessas florestas, as espécies exóticas

arbóreas são as mais utilizadas, destacando-se as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que possuem crescimento rápido e elevada produtividade.

Para implantação de florestas com finalidade energética, as espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais utilizadas em várias regiões do Brasil. A região Sul é considerada a mais fria do país, com invernos rigorosos, ocorrência de geadas e até mesmo neve, portanto, não são todas as espécies deste gênero que se adaptam a esse clima. Uma das espécies que vem se destacando em plantios nessa região é o *Eucalyptus benthamii*, o qual tolera a ocorrência de geadas e temperaturas negativas, sem causar danos no desenvolvimento da planta.

No estado do Paraná, mais especificamente na região de Colombo, avaliações demonstraram que o *E. benthamii*, aos 8 anos, cresceu 2,3 metros de altura e 2,7 centímetros em diâmetro ao ano (PEREIRA et al., 2000). E na região de Guarapuava, a espécie apresentou diferença no incremento diamétrico em função de diferentes espaçamentos, isso na fase inicial da planta, aos 24 e 36 meses, sendo o espaçamento 4 x 4m o que apresentou crescimento superior em diâmetro com 3,43 cm/ano, seguido do espaçamento 4 x 3m com 3,24 cm/ano e o espaçamento 3 x 2m obteve menor incremento com 2,85 cm/ano (BENIN et al., 2012).

Para implantação dessas florestas é necessário a aplicação de técnicas silviculturais, dentre as quais, o espaçamento é o que tem maior influência no crescimento, produção e qualidade final do produto. Geralmente, para produção de energia, são utilizados espaçamentos menores, que produzem maior quantidade de biomassa por hectare.

Além das técnicas silviculturais, as propriedades da madeira devem ser conhecidas pelos produtores, a fim de proporcionar melhorias na qualidade do produto final desejado e uma melhor utilização da madeira, seja para produção de energia, fabricação de móveis, papel e celulose, estruturas para construção civil ou extração de óleos essenciais. Para o conhecimento da melhor espécie a ser utilizada com finalidade energética, além da densidade básica da madeira, é necessário analisar suas propriedades químicas, como o poder calorífico e teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Assim, é de suma importância avaliar as características físicas e químicas de cada espécie para poder indicar o seu melhor uso, favorecendo um melhor aproveitamento do recurso florestal.

OBJETIVO

Avaliar o efeito de diferentes espaçamentos na densidade básica da madeira, nas propriedades energéticas e na produção de biomassa da espécie *Eucalyptus benthamii*.

MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Guarapuava, terceiro planalto paranaense, Centro Sul do Estado do Paraná, entre as coordenadas 450030 E, 7192169 N; e 450199 E, 7192253 N, com altitude de 1.120 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de *Köppen*, é Cfb, subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e sem estação seca definida, temperatura média anual de 17 a 18°C e com precipitação média anual de 1.800 a 2.000mm. A ocorrência de geadas é frequente nessa região, principalmente nos meses de inverno, podendo ocorrer também no fim do outono. O solo do local é caracterizado como Latossolo Bruno distrófico típico.

A espécie utilizada foi *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage, proveniente de mudas seminais da cultivar EBC 06 Candói, doadas pela Reflorestadora Golden Tree Ltda, sendo avaliado com 6 anos de idade nos seguintes espaçamentos: 3 x 2m, 3 x 3m, 4 x 3m e 4 x 4m. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições por quatro tratamentos e vinte árvores por repetição, sendo que cada repetição foi isolada com linhas duplas de árvores de bordadura da mesma espécie.

Para estimativa de biomassa, densidade da madeira, realização das análises químicas, físicas e energéticas, foram selecionadas de maneira aleatória dentro de 5 classes de diâmetro, sendo três árvores para cada classe, totalizando 15 árvores por tratamento/ espaçamento, em uma amostragem total de 60 árvores para a quantificação da biomassa nos diferentes compartimentos da árvore, utilizou-se como base a metodologia proposta por Watzlawick (2003), e para realização da análise de densidade básica da madeira foi uma adaptação da norma NBR 7190 para estruturas de madeira.

Para as análises químicas e energéticas, dentro da amostragem de 60 árvores foram selecionadas apenas 20 árvores, sendo escolhida a árvore que representava o centro de cada classe diamétrica. As determinações de carbono fixo (F), materiais voláteis (V) e cinzas (A) foram realizadas utilizando-se a norma NBR 8112/86. Já para a análise de poder calorífico superior (PCS) a norma NBR 8633/84 da ABNT, utilizando-se um calorímetro (bomba) automático, marca IKA WORKS, modelo C5000. Estas análises foram realizadas no laboratório de Energia da Biomassa, da UFPR, em Curitiba – PR.

O delineamento experimental para a biomassa total e dos diferentes compartimentos da árvore, foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com 4 blocos e 4 tratamentos. Já para a análise das propriedades físicas da madeira, e os dados de densidade básica foram comparados em arranjo fatorial: 4 x 5 (4 espaçamentos, 5 posições de alturas no fuste), com 15 repetições. Para as análises das propriedades químicas e energéticas foi utilizado o arranjo fatorial 4 x 3 (4 espaçamentos, 3 compartimentos – galhos e folhas, casca e madeira), com 5 repetições.

Todas as avaliações foram submetidas ao teste de Bartlett para comprovar a homogeneidade das variâncias, análise de variância ANOVA e ao teste de comparação de médias Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas com o auxílio do *software* estatístico ASSISTAT versão 7.7 beta. Os coeficientes de correlação de Pearson para o poder calorífico e teor de umidade foram obtidos no Microsoft Excel 7.0. Para maiores detalhes em relação a material e métodos, bem como análises e resultados, consultar Wionzek (2014).

RESULTADOS

Produção de biomassa

Os diferentes espaçamentos avaliados influenciaram na estimativa de biomassa seca total e por compartimento da árvore, sendo que as médias correspondentes a cada tratamento e de biomassa seca por compartimento são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios de biomassa seca total e por compartimento em função dos diferentes tratamentos avaliados para *E. benthamii*, aos 6 anos de idade.

Espaçamento (m)	Biomassa Seca (Mg ha ⁻¹)				
	Total	Madeira	Casca	Galhos	Folhas
3 x 2	184,164 a	139,668 a	23,776 a	12,634 a	7,845 a
3 x 3	147,294 ab	111,125 ab	18,742 ab	10,866 a	6,443 a
4 x 3	133,508 b	99,720 b	16,691 b	10,860 a	6,181 a
4 x 4	109,323 b	80,518 b	13,606 b	9,831 a	5,436 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

O espaçamento correspondente a 3 x 2m foi o que apresentou a maior quantidade de biomassa estimada por hectare e o espaçamento 4 x 4m (625 arv.ha⁻¹), teve a menor quantidade de biomassa, e tal fato pode ser explicado pelo maior número de árvores por hectare no menor espaçamento (1666 arv.ha⁻¹).

Propriedades físicas da madeira

As densidades básica da madeira apresentaram homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$). A partir da análise em esquema fatorial, foi possível observar que o fator espaçamento não foi significativo para a densidade ($p > 0,01$). O fator posição de amostragem ao longo do fuste apresentou diferença significativa ($p < 0,01$). Não houve interação entre os fatores espaçamento x posição de amostragem. Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da densidade básica em função da posição de amostragem ao longo do fuste.

Tabela 2. Valores médios da densidade básica em função dos diferentes pontos de amostragem ao longo do fuste de *E. benthamii* aos 6 anos de idade.

Posição de amostragem	Altura média correspondente a posição de amostragem	Densidade Básica (g cm ⁻³)
BASE	0,10 cm	0,523 a
DAP	1,30 m	0,511 ab
25%	5,76 m	0,503 b
50%	11,52 m	0,499 b
75%	17,29 m	0,470 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

A densidade básica média da madeira de *E. benthamii* foi de 0,500 g cm⁻³, não apresentando diferença para os espaçamentos avaliados. Quando se considerou as posições de amostragem ao longo do fuste, observou-se uma tendência de diminuição da densidade encontrada no sentido base - topo da árvore. A base (0,10cm) apresentou a maior densidade básica de 0,523 g cm⁻³, seguida pelas alturas equivalentes a 1,30m, 25% e 50%, e por último a amostragem do ponto de 75% da árvore, que apresentou um valor equivalente a 0,470 g cm⁻³.

Propriedades químicas e energéticas

A análise química imediata avaliou os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas dos diferentes compartimentos da árvore e os dados referentes a essa análise apresentaram variâncias homogêneas conforme observado no teste de Bartlett ($p > 0,05$). Para esses mesmos teores, não foi observada diferença estatística entre os diferentes espaçamentos avaliados ($p > 0,01$). Houve diferença somente entre os compartimentos das árvores ($p < 0,01$). Também não houve interação entre os fatores espaçamento x compartimentos. Os valores médios com os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas dos diferentes compartimentos da árvore são apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas nos compartimentos casca, madeira, galhos e folhas de *E. benthamii*, aos 6 anos de idade.

Compartimentos	Médias (%)		
	Materiais Voláteis	Carbono Fixo	Cinzas
Casca	71,852 c	22,271 a	5,878 a
Madeira	82,032 a	17,619 c	0,349 c
Galhos e Folhas	75,472 b	21,105 b	3,422 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

O poder calorífico superior apresentou homogeneidade das variâncias conforme observado no teste de Bartlett ($p > 0,05$). Quanto aos espaçamentos, estes não influenciaram no poder calorífico dos compartimentos das árvores ($p > 0,01$). Ocorreu diferença significativa

somente para os diferentes compartimentos avaliados ($p < 0,01$). A interação entre os fatores espaçamentos x compartimentos também não foi observada. A maior média encontrada para o poder calorífico superior foi para o compartimento de galhos e folhas com $4.732 \text{ kcal kg}^{-1}$, seguido da madeira com $4.534 \text{ kcal kg}^{-1}$, e por último, a casca com $3.904 \text{ kcal kg}^{-1}$ (Tabela 4).

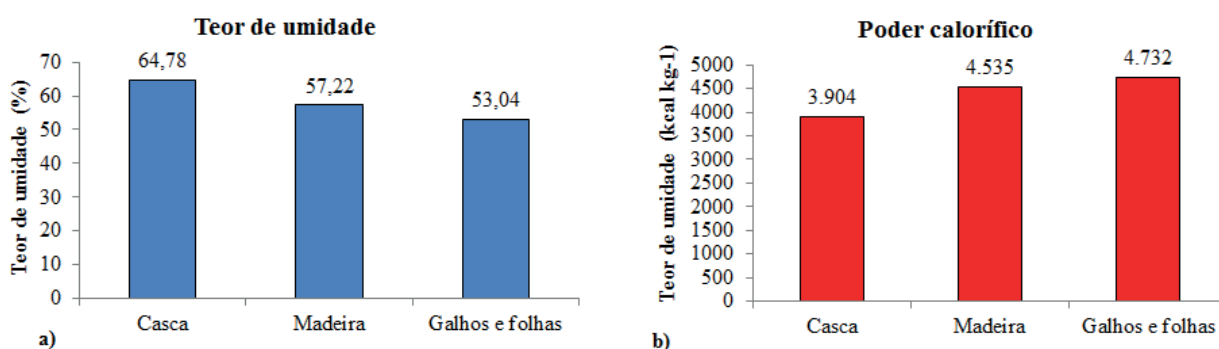
Tabela 4. Valores médios de poder calorífico superior (kcal kg^{-1}) para galhos e folhas, madeira e casca de *E. benthamii*, aos 6 anos de idade.

Compartimentos	Média PCS (kcal kg^{-1})
Galhos e folhas	4.732 a
Madeira	4.534 b
Casca	3.904 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$).

Os valores médios e a relação entre o teor de umidade (TU) e poder calorífico superior (PCS) para os compartimentos madeira, casca, galhos e folhas são apresentados na Figura 3.

Figura 3. Relação entre o teor de umidade (a) e poder calorífico (b) dos compartimentos casca, madeira e galhos e folhas de *E. benthamii*, aos 6 anos de idade.



DISCUSSÃO

Produção de biomassa

Em relação ao resultado nos diferentes espaçamentos, o mesmo condiz com Leite et al. (1997), que ao avaliarem a biomassa seca total e de diferentes compartimentos da espécie *E. grandis*, aos 6 anos de idade, constataram que a maior produção de biomassa ocorreu no menor espaçamento correspondente a $2 \times 1 \text{ m}$ com $15,5 \text{ t ha}^{-1}$, e a produção mais baixa foi observada no maior espaçamento com $8,3 \text{ t ha}^{-1}$. Ainda, Santos (2011), ao observar o efeito de 16 espaçamentos na produtividade de biomassa das espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*, aos 72 meses, confirmou que a maior produção de biomassa ocorreu nos menores espaçamentos. Tal fato também foi observado por Ladeira (1999), avaliando o crescimento e a produção de biomassa de *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla*.

A variação na densidade populacional de plantas, normalmente, afeta a quantidade de biomassa obtida por unidade de tempo e a qualidade do produto final (LEITE et al., 1997), bem como o aumento da densidade populacional nos espaçamentos adensados proporciona uma redução na produção de biomassa por árvore, no entanto, ocorre um aumento da produção dessa biomassa por hectare (SANTOS, 2011).

A produção de biomassa está diretamente relacionada com fatores de sítio, tratos silviculturais e, principalmente, com a densidade da população e fatores ambientais. À medida que o espaçamento diminui tem-se uma maior densidade populacional, o que aumenta a competição entre plantas por água, luz e nutrientes (SCHNEIDER, 2008). Já em espaçamentos mais amplos, há uma maior disponibilidade de recursos para cada árvore, favorecendo o incremento em diâmetro, grande área de copa com muitas ramificações, proporcionando melhor desenvolvimento da planta e contribuindo diretamente na qualidade e quantidade da produção em termos individuais. Já em povoamentos mais densos, há predominância de árvores com diâmetros menores (SANTOS, 2011; LIMA et al., 2013; PAULESKI, 2010). Nesse caso, não se preza pela qualidade do produto e sim a quantidade de madeira produzida, assim, em questões energéticas, é recomendado a utilização de espaçamentos menores, os quais produzem maior número de indivíduos por hectare.

Com relação aos diferentes compartimentos de *E. benthamii*, estes apresentaram diferença entre a madeira, casca, galhos e folhas, além disso, a madeira foi o compartimento que mais produziu biomassa por hectare. Em média, a madeira representa 75% da biomassa total, a casca 13%, galhos e folhas com 8 e 4%, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Bernardo et al. (1998), que ao avaliarem o efeito do espaçamento no crescimento e produção de biomassa, observaram que, conforme o espaçamento aumento ocorre uma diminuição da produção por hectare, nos diversos compartimentos das árvores das espécies de *E. urophylla*, *E. pellita* e *E. camaldulensis*. Na madeira está concentrado o maior peso de biomassa, este fato também foi verificado nos trabalhos de Leite et al. (1997), com *E. grandis*; Schumacher e Caldeira (2001), com *E. globulus* subespécie *maidenii*; Valerio (2009) e Giongo et al. (2011) com *Pinus elliottii*; Coelho et al. (1970), com *E. grandis*, *E. alba*, *E. saligna* e *E. propinqua*; e por Müller (2005) com híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*.

A porcentagem encontrada para os compartimentos avaliados de *E. benthamii* condiz com os resultados de trabalhos desenvolvidos por Müller (2005), com híbrido das espécies de *E. grandis* x *E. camaldulensis*; por Rondon (2006), com a espécie *Tectona grandis*; e por Pereira et al. (1997), com *Acacia mearnsii*. Müller (2005), ainda menciona que, geralmente, a madeira e a casca representam cerca de 70 a 80% da biomassa e os galhos e folhas representam de 20 a 30% do total.

Em um estudo desenvolvido por Pereira et al. (2000), no município de Colombo-PR, a madeira de *E. benthamii*, aos 7 anos de idade, apresentou uma densidade básica média de $0,477 \pm 0,009 \text{ g cm}^{-3}$, ou seja, valor inferior ao encontrado no presente estudo. O autor também observou a mesma tendência de diminuição da densidade no sentido da base para o topo: a densidade da base foi maior em relação aos outros pontos de amostragem, enquanto a altura correspondente a 100% apresentou menor densidade básica da madeira.

Propriedades físicas da madeira

A diferença entre a densidade básica da madeira de diferentes localidades pode estar associada a qualidade das sementes utilizadas no plantio ou relacionada com as diferenças ecológicas de cada região, como clima e solo (BRASIL e FERREIRA, 1971). O espaçamento pode ou não influenciar a densidade básica da madeira. Para as espécies de *E. grandis*, *E. alba* e *E. saligna*, aos 5 anos de idade, avaliadas em função dos espaçamentos 3 x 1,5m e 3 x 2m, não foi constatada diferença da densidade básica entre os espaçamentos avaliados (BRASIL e FERREIRA, 1971).

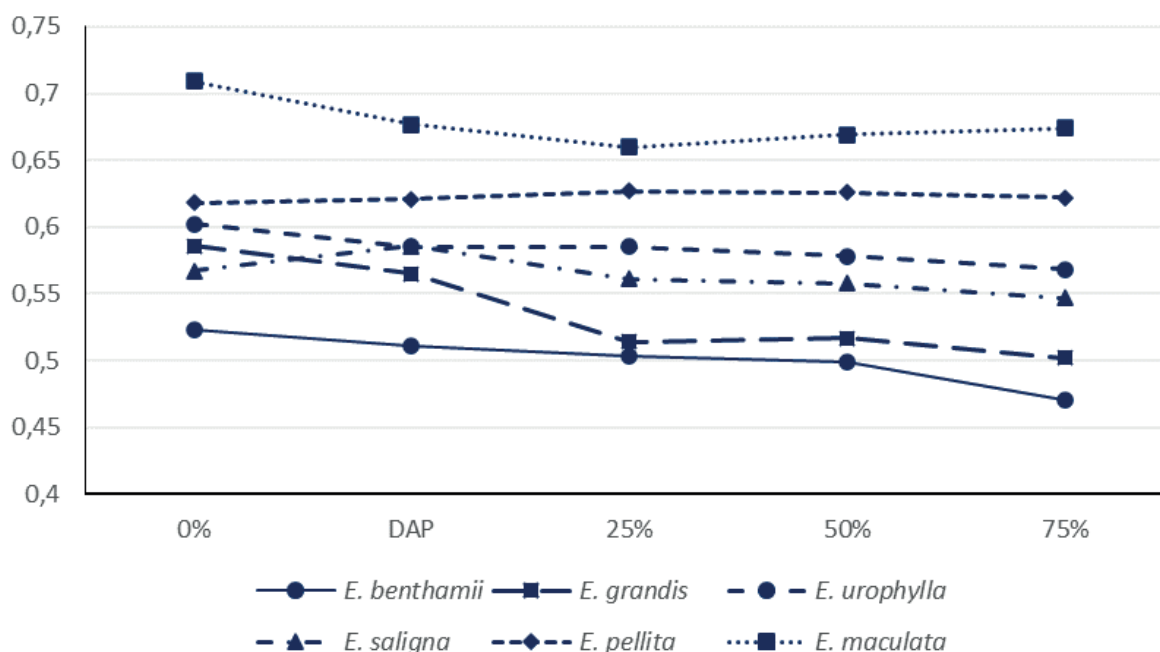
No entanto, Goulart et al. (2003), avaliando o efeito de diferentes espaçamentos de plantio na densidade básica de *E. grandis*, aos 10 anos de idade, observaram diferença para a densidade nos espaçamentos. As áreas vitais utilizadas no estudo foram 1,00, 1,50, 2,00, 3,00, 4,00, 5,00, 3,75, 6,25, 6,00, 7,50, 9,00 e 12,00m², sendo que os espaçamentos 1,5 x 1,0m e 2,0 x 1,5m, com as áreas vitais de 1,5 e 3,00m², apresentaram os maiores valores de densidade básica, correspondentes a 0,440 e 0,470 g cm⁻³, respectivamente.

Quanto às diferentes posições de amostragem ao longo do fuste, não há uma maneira específica de variação da densidade básica no sentido base-topo da árvore (SOUZA et al., 1986). Para a espécie *E. grandis*, aos 18 anos de idade, a densidade obteve um decréscimo até a região do DAP, seguido de acréscimo até a altura correspondente a 100% (TREVISAN et al., 2012). Sturion et al. (1987), estudando a variação da densidade básica da madeira de diferentes espécies de eucalipto, aos 10 anos e meio de idade, observaram que ocorreram variações na densidade ao longo do fuste. Para o *E. grandis*, a densidade decresceu da base para a posição relativa a 25% da altura, aumentou até a posição de 50% e novamente voltou a decrescer. Para as espécies de *E. urophylla* e *E. saligna*, a densidade mostrou tendência decrescente no sentido da base para o topo da árvore; *E. pellita* não apresentou variação ao longo do fuste; *E. maculata*, teve um decréscimo da base para a posição relativa a 25% e, posteriormente, um acréscimo até o topo.

Comparando os resultados obtidos para densidade básica, em diferentes posições de amostragem ao longo do fuste para o *E. benthamii* com outras espécies de eucalipto, avaliadas por Sturion et al. (1987), *E. urophylla* e *E. saligna* foram as espécies que apresentaram a mesma tendência de decrescer no sentido base-topo da árvore, sendo que os maiores

valores de densidade foram encontrados na base e os menores nas alturas correspondentes a 75% (Figura 1).

Figura 1. Comparação da densidade básica da madeira em posições de amostragem ao longo do fuste para *E. benthamii* do presente estudo, com diferentes espécies de eucalipto avaliadas por Sturion et al., (1987). DAP-diâmetro a altura do peito.



A densidade básica pode variar entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore, em função, principalmente, do ciclo de vida da árvore e das condições edafoclimáticas do povoamento (VITAL et al., 2006). As variações radial e longitudinal são as principais variações que ocorrem dentro do fuste (COUTO et al., 2012). As variações na densidade também são provocadas por diferenças nas dimensões celulares e pela quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume (ROCHA, 2011).

A base da árvore é a que apresenta os maiores valores de densidade, este fato pode ser justificado pela influência do sistema radicular (SOUZA et al., 1986) e às exigências mecânicas de sustentação do fuste (TREVISAN et al., 2012). Quanto à densidade no sentido longitudinal do fuste, esta pode variar de acordo com características relacionadas ao seu crescimento como, tortuosidade e formação de galhos e folhas; e incidência de agentes externos como o vento, que podem atuar de diferentes maneiras sob o fuste (PALERMO et al., 2006).

Propriedades químicas e energéticas

Em estudo sobre as características energéticas do *E. benthamii*, aos 5 anos de idade, Silva et al. (2012) avaliaram, separadamente, a casca e a madeira, obtendo médias para a madeira de 16,0% para carbono fixo, 84,0% de materiais voláteis e 0,25% para as cinzas;

já para a casca 23,9% de carbono fixo, 76,1% de materiais voláteis e 4,4% de cinzas. Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, também foram verificados por Chrisostomo et al. (2013), para *E. grandis* e por Scremin (2012), para *E. dunii*.

Os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas dos diferentes compartimentos não sofreram influência do espaçamento. Isso pode ser justificado pela relação desses teores com a constituição química da madeira, como lignina e holocelulose e pela quantidade de nutrientes presentes na árvore. Reis et al. (2012), também não observou diferença entre os espaçamentos 3 x 3m e 3 x 4m, para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas de *E. urophylla*, aos 7 anos de idade.

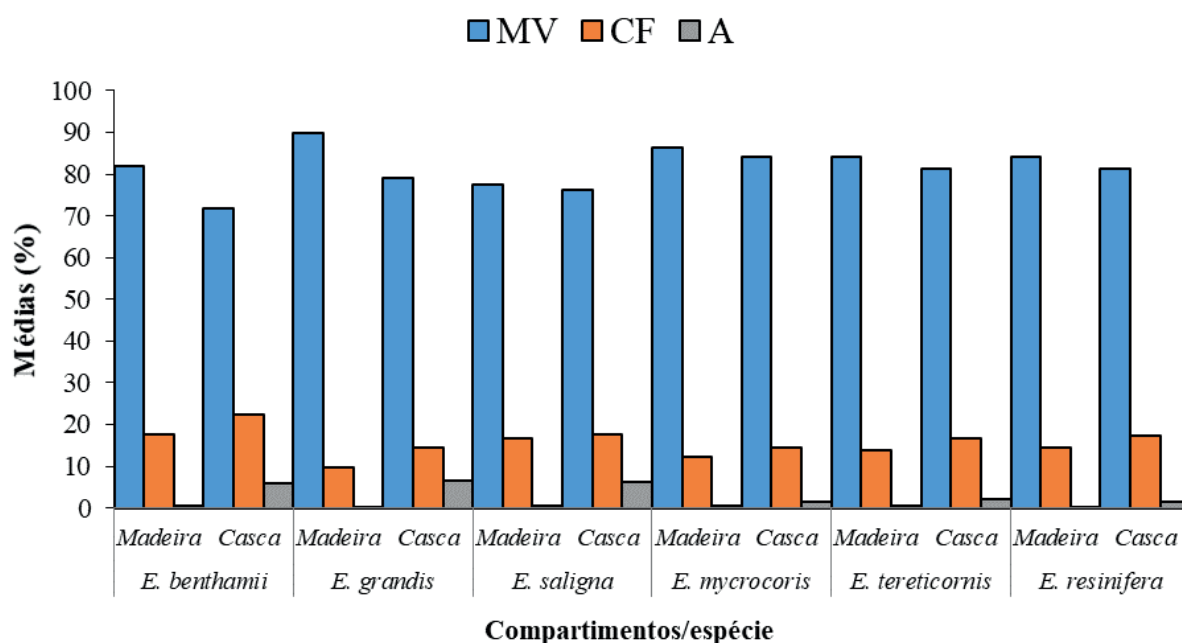
A relação entre a lignina e o carbono fixo foi verificada por Brito e Barrichelo (1977), em que os autores encontraram uma correlação positiva entre o teor de lignina da madeira e o teor de carbono fixo e para os teores de materiais voláteis e de cinzas, a correlação com a lignina foi negativa. Para Trugilho et al. (1996), a lignina apresentou correlação negativa com o teor de holocelulose. Isto sugere que madeiras com maior teor de lignina têm maior porcentagem de carbono fixo, conseqüentemente, menor teor de materiais voláteis.

A relação entre teor de carbono fixo e teor de materiais voláteis, também foi verificada por Chaves et al. (2013), ao avaliarem clones de *Eucalyptus spp.*, quando constataram que o teor de carbono fixo depende do teor de materiais voláteis e que madeiras com maiores teores de material volátil tem menores teores de carbono fixo.

Os resultados encontrados na análise imediata da madeira e de galhos e folhas de *E. benthamii* estão de acordo com a porcentagem considerada ideal para o teor de materiais voláteis, que varia entre 75 e 85% e para o carbono fixo entre 15 e 25% (BRAND, 2010; CORDER, 1976). A casca apresentou valor inferior a esta porcentagem para materiais voláteis e o carbono fixo está dentro dessa faixa de porcentagem.

Considerando os compartimentos avaliados, a casca apresentou maiores teores de carbono fixo e cinzas, e a madeira apresentou maior média para o teor de materiais voláteis. Brito e Barrichelo (1978) avaliaram as características de oito espécies de eucalipto, entre quatro e cinco anos de idade, e também constataram teor de carbono fixo para a casca superior ao da madeira e o contrário também ocorre com o teor de materiais voláteis, onde a madeira obteve as maiores médias (Figura 2). Outros autores também encontraram essa variação entre a madeira e a casca para o *Pinus* (SOUZA et al., 2012) e para espécies nativas (VALE et al., 2002).

Figura 2. Comparação entre as médias para o teor de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF) e cinzas (A) para *E. benthamii* do presente estudo, com diferentes espécies de eucalipto avaliadas por Brito e Barrichelo (1978).



Os valores apresentados no gráfico mostram que a madeira de diferentes espécies de eucalipto apresentaram maiores teores de materiais voláteis, as cascas maiores teores de carbono fixo e cinzas foram maiores na casca. O *E. benthamii* apresentou teores de materiais voláteis e carbono fixo inferiores quando comparado as demais espécies. E as cinzas variaram de uma espécie para outra, sendo que *E. benthamii* obteve médias inferiores para a madeira e casca das espécies *E. grandis*, *E. saligna*; e superiores para a espécie *E. resinifera*.

As cinzas correspondem à quantidade de minerais presentes na madeira (BARCELLOS et al., 2005) e variam conforme os compartimentos da árvore, além de ser uma característica intrínseca da madeira de diferentes espécies (ANDRADE e CARVALHO, 1998). Na maioria das espécies, as folhas e a casca apresentam maior teor de cinzas do que os outros compartimentos da árvore: as folhas porque transformam os nutrientes em componentes vegetais por meio da fotossíntese e a casca por apresentar maior quantidade de materiais inorgânicos (BRAND, 2010). O teor de cinzas ainda pode variar com a idade da árvore, posição ao longo do fuste e fatores ambientais, como clima e solo (ROSA, 2003).

Os resultados encontrados para o poder calorífico superior são similares aos encontrados por Lima et al. (2011), com *E. benthamii*, aos 6 anos de idade, onde este obteve valores para o PCS de 4.681 kcal kg⁻¹. Para outras espécies de eucalipto, Silva et al. (2012) observaram valores também muito semelhantes, sendo que, para *E. urophylla* o PCS foi de 4.637 kcal kg⁻¹, para *E. grandis* de 4.687 kcal kg⁻¹ e *E. citriodora* de 4.625 kcal kg⁻¹. O valor médio da casca foi similar ao encontrado por Miranda (2000), com híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, aos 9 anos de idade.

O espaçamento não influenciou o poder calorífico dos compartimentos da árvore de *E. benthamii*, aos 6 anos de idade. Rocha (2011), avaliando o poder calorífico superior de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, nas idades de 4, 5, 6 e 7 anos, também não observou influência do espaçamento no poder calorífico.

O fato do espaçamento não alterar o poder calorífico pode ser justificado pela relação desta variável com constituintes químicos da madeira como a lignina e extrativos, os quais variam notavelmente entre as espécies coníferas, como o *Pinus*, para as folhosas, como o *Eucalyptus* (ROCHA, 2011; BRAND, 2010), mas não são alterados por tratos silviculturais, como o espaçamento.

Essa relação entre o poder calorífico e a composição química da madeira foi comprovada em estudos desenvolvidos por Doat e Petroff (1975), que ao pesquisarem espécies tropicais, observaram que uma madeira rica em lignina e extrativos solúveis possuem elevado poder calorífico. O poder calorífico da casca de *E. benthamii* observado neste estudo, foi inferior aos demais compartimentos. Esta diferença entre o PCS da casca e da madeira também foi comprovada por Brand (2010) e Couto et al. (1984). Geralmente, o PCS da casca é superior ao da madeira, porém algumas espécies não apresentam este comportamento. Esta diferença está relacionada aos compostos orgânicos que possuem quantidades variáveis na casca das diferentes espécies (BRAND, 2010).

Essas variações observadas de poder caloríficos nos diferentes compartimentos das árvores podem ser justificadas pela sua composição química, que pode variar entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro da própria árvore (ROWELL, 2005).

A umidade e o poder calorífico apresentaram uma correlação de Pearson negativa, de -0,8218, confirmando assim, a existência de uma relação inversamente proporcional entre essas duas propriedades da madeira. De acordo com Ferreira et al. (2009), essa relação indica que quanto maior o teor de umidade, menor será o poder calorífico.

A partir das médias obtidas para o teor de umidade e o poder calorífico é possível observar que o compartimento casca apresentou maior teor de umidade, conseqüentemente, menor poder calorífico. Para a madeira e para galhos e folhas, o teor de umidade encontrado variou de 51,99 a 56,84%, e o poder calorífico também apresentou médias próximas para estes compartimentos.

Os resultados encontrados dessa influência e da relação inversamente proporcional entre a umidade no poder calorífico para o *E. benthamii*, também foram encontradas nos resultados observados por Furtado et al. (2012), Ferreira et al. (2009), Couto et al. (2013) e Calegari et al. (2005).

Uma das principais relações da umidade com o poder calorífico é que esta dificulta a queima do combustível, visto que no processo de combustão, quanto maior for a umidade, mais energia será gasta para a evaporação e eliminação da água que está presente no

combustível. Além disso, é necessário considerar que a umidade varia amplamente nos compartimentos da árvore, sendo maior nas raízes e copa (galhos e folhas) e menor no caule e tronco (BRAND, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que o espaçamento influenciou a produção de biomassa seca por hectare, a qual também teve diferença significativa entre os compartimentos da árvore; a densidade não se diferenciou conforme o espaçamento, somente entre as diferentes posições de amostragem ao longo do fuste; os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas não sofreram influência dos espaçamentos avaliados, foi observada diferença apenas entre os compartimentos casca, madeira e galhos + folhas; e o poder calorífico apresentou diferença somente entre os compartimentos, sendo que os galhos + folhas apresentaram maior média.

SUGESTÃO

Como sugestão deve-se analisar a composição química da madeira de *E. benthamii*: teores de lignina, celulose e hemicelulose; avaliar a qualidade do carvão vegetal de *E. benthamii* e as suas propriedades químicas, como: teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas; bem como para fins energéticos, implantar a espécie em espaçamentos menores aos estudados neste trabalho, para verificar se há influência deste sob as características químicas, físicas e energéticas de *E. benthamii*.

■ REFERÊNCIAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 7190/97. Projeto de Estrutura de Madeira**. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112/86. Carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633/84. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984.
4. ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floram**, 5 (1), p. 24-42, 1998.
5. BARCELLOS, D.C.; COUTO, L.C.; MÜLLER, M.D.; COUTO, L. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, v.2, n.2, p. 141-158, 2005.

6. BENIN, C.C. **Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii***. 2014, 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, PR.
7. BENIN, C.C.; WIONZEK, F.B.; WATZLAWICK, L.F. Incremento anual em diâmetro e altura em plantios de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage sob diferentes espaçamentos. In: 4º Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. **Artigos...** Curitiba: 2012.
8. BERNARDO, A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; HARRISON, R.B. FIRME, D.J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, 104, p 1–13, 1998.
9. BRAND, M.A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010, 131p.
10. BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill Ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento**. São Paulo, IPEF, 1971, p. 129-149. (Série técnica, IPEF, n.2/3).
11. BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. **Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca**. São Paulo, IPEF, 1978, p. 63-70. (Série técnica, IPEF, n.16).
12. BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto**. São Paulo, IPEF, 1977, p. 9-20. (Série técnica, IPEF, n.14).
13. CHAVES, A.M.B.; VALE, A.T.; MELIDO, R.C.N.; ZOCH, V.P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp*. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.9, n.17, p. 533-542, 2013.
14. CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F.M.; YAMAMOTO, H.; CARVALHO, A.J.F. Determinação da análise imediata do eucalipto por termogravimetria. In: Congresso Florestal no Cerrado e 3º Simpósio sobre eucaliptocultura. 2013, Goiânia. **Resumos...** trab. 168, p. 341-342, Goiânia, 2013.
15. COELHO, A.S.R.; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W. **Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento**. São Paulo, IPEF, 1970, p. 29-55. (Série técnica, IPEF, n.1).
16. CORDER, S.E. **Properties and uses of bark as an energy source**. Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University, 21 p. 1976.
17. COUTO, A.M.; PROTÁSIO, T.P.; REIS, A.A.; TRUGILHO, P.F. Amostras longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus sp*. **Floram**, 19 (2), p. 184-193, 2012.
18. COUTO, C.M.; PILOTTO, M.V.T.; GATTO, D.A.; BELTRAME, R. Estimativa do poder calorífico de madeiras de *Acacia measrnsii* e *Eucalyptus grandis*. In: XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas. 2013, Pelotas. **Artigos...** Pelotas, 2013.
19. COUTO, H.T.Z.; BRITO, J.O.; TOMAZELLO FILHO, M. **Quantificação de resíduos florestais para produção de energia em povoamento de *Eucalyptus saligna***. São Paulo, IPEF, 1984, p. 19-23. (Série técnica, IPEF, n.26).
20. DOAT, J.; PETROFF, G. La carbonisation des bois tropicaux. **Revue Bois el Forêts des Tropiques**, n.159, p.55-72, 1975.

21. FERREIRA, J.C.; FURTADO, T.S.; NEVES, M.D.; BRAND, M.A. Influência do teor de umidade no poder calorífico em diferentes idades e componentes de árvores de *Pinus taeda*. In: 1º Congresso Brasileiro sobre Floresta Energéticas. 2009, Belo Horizonte-MG. **Artigos...** Belo Horizonte, 2009.
22. FURTADO, T.S.; FERREIRA, J.C.; BRAND, M.A.; NEVES, M.D. Correlação entre teor de umidade eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa/MG, v.36, n.3, p. 577-582, 2012.
23. GARLIPP, R.; FOELKEL, C.E.B. O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade. In: XIII Congresso Florestal Mundial/ FAO, 2009. Buenos Aires. **Artigos...** Buenos Aires, Argentina, 2009.
24. GIONGO, M.; SILVA, D.B.; KOEHLER, H.S.; MARCHETTI, M. Inventário de biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* engelm. aos 23 anos de idade. **J. Biotec. Biodivers.** v.2, n.3, p. 81-86, 2011.
25. OULART, M.; HASELEIN, C.R.; HOPPE, J.M.; FARIAS, J.A.; PAULESKI, D.T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.2, p. 167-175, 2003.
26. LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp.*, sob três diferentes espaçamentos, em uma sequência de idades.** 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
27. LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANS, L.M.A.; FABRES, A.S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa/MG, v.21, n.3, p. 313-321, 1997.
28. LIMA, E.A.; SILVA, H.D.; LAVORANTI, O.J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v.31, n.65, p. 09-17, 2011.
29. LIMA, R.; INOUE, M.T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAÚJO, A.J.; MACHADO, S.A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floram**, 20 (2), p. 223-230, 2013.
30. MIRANDA, G.M. **Análise econômica de dois sistemas de descascamento de madeira de eucalipto.** 2000. 45p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
31. MÜLLER, M.D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG.** 2005. 94 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
32. PALERMO, J.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; REZENDE, M.A.; NASCIMENTO, A.M.; SEVERO, E.T.D.; ABREU, H.S. Análise da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista da Madeira**, versão online, ed. 99, 2006.
33. PAULESKI, D.T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 196 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS.

34. PEREIRA, J.C.D.; STURIONL J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. 2000, 114 p. (Embrapa Florestas, Documentos, 38).
35. REIS, A.A.; MELO, I.C.N.A.; PROTÁSIO, T.P.; TRUGILHO, P.F.; CARNEIRO, A.C.O. Efeito de local e espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Floram**, 19 (4), p. 497-505, 2012.
36. ROCHA, M.F.V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
37. RONDON, E.V. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.337-341, 2006.
38. ROSA, C.A.B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose kraft**. 2003. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
39. ROWELL, R.M. (Ed.) **Handbook of wood chemistry and wood composites**. CRC Press, 2005, 487 p.
40. SANTOS, M.D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, SP.
41. SCHNEIDER, P.S.P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade em povoamentos de *Pinus taeda* L.** 2008. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS.
42. SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p. 45-53, 2001.
43. SCREMIN, A.L.T. **Estudo energético e fisicoquímico do carvão vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2012. 101 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava, PR.
44. SILVA, D.A.; CARON, B.O.; BEHLING, A.; SOUZA, V.Q.; ELOY, E. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p. 1588-1595, 2012.
45. SILVA, D.A.; MÜLLER, B.V.; KUIASKI, E.C.; CUNHA, A.B. Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. In: 4º Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. **Artigos...** Curitiba: 2012.
46. SOUZA, M.M.; SILVA, D.A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R.C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba/PR, v.42, n.2, p. 325-334, 2012.
47. SOUZA, V.R.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. **Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna***. São Paulo, IPEF, 1986, p. 65-72. (Série técnica, IPEF, n.33).

48. STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; ALBINO, J.C.; MORITA, M. **Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG.** Colombo, 1987, p. 28-38. (Boletim de Pesquisa Florestal, n.14).
49. TREVISAN, R.; DENARDI, L.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Efeito do desbaste e variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.40, n.95, p. 393-399, 2012.
50. TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2 n. 1. p. 94-111. 1996.
51. VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; LEÃO, A.L. Quantificação e caracterização energética da madeira e a casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p. 71-80, 2002.
52. VALERIO, A.F. **Quantificação e modelagem da biomassa e carbono em plantações de *Pinus elliottii* Eng. com diferentes idades.** 2009. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Irati, PR.
53. VITAL, B.R.; MACIEL, A.S.; DELLA LUCIA, R.M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.4, p. 637-644, 2006.
54. WATZLAWICK, L.F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II.** 2003. 120 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
55. WIONZEK, F.B. **Efeito do espaçamento nas propriedades energéticas e biomassa de de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage** 2014, 75p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, PR.

“

Propiedades tecnológicas de la madera de *Ormosia paraensis* Ducke proveniente de la Amazonía suroriental del Perú

┆ Leif Armando **Portal Cahuana**
USP/ ESALQ

┆ Jannet Marina **Carpio Arana**

┆ Giancarlo Sinbad **Díaz Vela**

RESUMEN

Las propiedades tecnológicas de la madera como la anatomía y propiedades físicas, si bien son estudios básicos en el nivel tecnológico, son la base de todos los estudios específicos posteriores. En este sentido el objetivo de la presente investigación fue caracterizar la anatomía y propiedades de la especie *Ormosia paraensis* Ducke proveniente de la Amazonía suroriental del Perú. Fueron utilizados cinco árboles, de ocurrencia natural en el departamento de Madre de Dios. Fueron determinadas las características anatómicas: generales, macroscópicas y microscópicas, y las propiedades físicas del contenido de humedad, densidades: básica, normal, anhidra, contracciones: radial, tangencial, longitudinal, volumétrica y el índice de estabilidad, teniendo como protocolo la IAWA , COPANT y NTP. Los análisis fueron realizados en la Planta Piloto de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Los resultados muestran que las características anatómicas macroscópicas son semejantes a otras especies del género *Ormosia*, sobre las propiedades físicas la madera presenta una densidad básica alta y en función al índice de estabilidad se clasifica como estable y de buen comportamiento al secado. Los usos en función al análisis tecnológico son: construcciones pesadas, puentes y traviesas, pisos, chapas decorativas, ebanistería, mobiliario, carpintería de interior y exterior, instalaciones de lujo, escaleras, mangos de herramientas, trabajos de torno, cepillos, brochas, entarimados y artesanías. En conclusión, damos a conocer la anatomía y propiedades físicas de *O. paraensis*, en la Amazonía peruana y muestra un gran potencial para su aprovechamiento y comercialización.

Palabras-Clave: Tecnología de la Madera, Especie Tropical Nativa, Densidad de la Madera, Especies no Tradicionales, Perú.

INTRODUCCIÓN

La madera tiene como fin último, la de satisfacer las necesidades del árbol, y por ello todas las propiedades de la madera (anatomía física, mecánica, química, tecnológica, etc.) buscan lograr este fin que garante la vida de este ser, a través de la conducción, el soporte y el almacenamiento; que son las tres funciones principales; y en esta funciones recae toda su complejidad, con muchos tipos de células y estructuras complejas biológicamente que buscan satisfacer las necesidades de las plantas vivas, esa es la madera (WIEDENHOEFT, 2012).

En ese contexto la anatomía y las propiedades físicas de la madera, son uno de los principales índices para distinguir las propiedades tecnológicas de una determinada especie forestal. Si bien son estudios básicos en el nivel tecnológico son la base de todos los estudios específicos posteriores, por ejemplo, la densidad una propiedad física de la madera puede ayudar enormemente en el uso racional de la madera y esta a su vez puede ser respondida por su anatomía (WENQI, 1996).

La investigación de especies menos conocidas debe de promoverse, apoyarse y necesitan y urgen de investigaciones de tecnología que ayude primeramente a que los pueblos conozcan su biodiversidad y ayudar a utilizar de forma sostenible, propiciando un uso apropiado y adecuado de esta materia prima según sus especificaciones tecnológicas (BRAGA et al., 2020). Esto se debe a que el uso de especies menos conocidas no solo aumenta la base de recursos forestales aprovechables para un país, sino también reduce la alta presión sobre las especies más conocidas (comerciales) (ALI et al., 2008), un gran porcentaje de especies nativas será descritas y caracterizadas tecnológicamente por primera vez, por en la actualidad falta mucho por hacer, no se ha avanzado mucho y lo poco aun llega a ser insuficiente ocasionado no solo un uso inadecuado sino su extinción y su ecosistema vulnerado. Por tanto, los estudios tecnológicos de la madera nativas menos conocidas son muy importantes, porque proporcionará conocimientos tecnológicos de estas especies y, por consiguiente, permitirá aplicar métodos para producir productos de alta calidad.

La diversidad de flora arbórea en el Perú, con los datos más actualizados, se tiene 4618 especies de árboles, incluyendo 471 especies endémicas y 06 variedades de endémicas (PEÑA et al., 2020; VÁSQUEZ et al., 2018), de los cuales aproximadamente 350 especies equivalente a 7.6% cuentan con estudios tecnológicos básicos y solo 150 especies equivalente al 3.2% del total de especies arbóreas del Perú son aprovechadas comercialmente por su madera. Esto refuerza y pone en manifiesto la necesidad urgente de investigar en el área de la tecnología de la madera en el país.

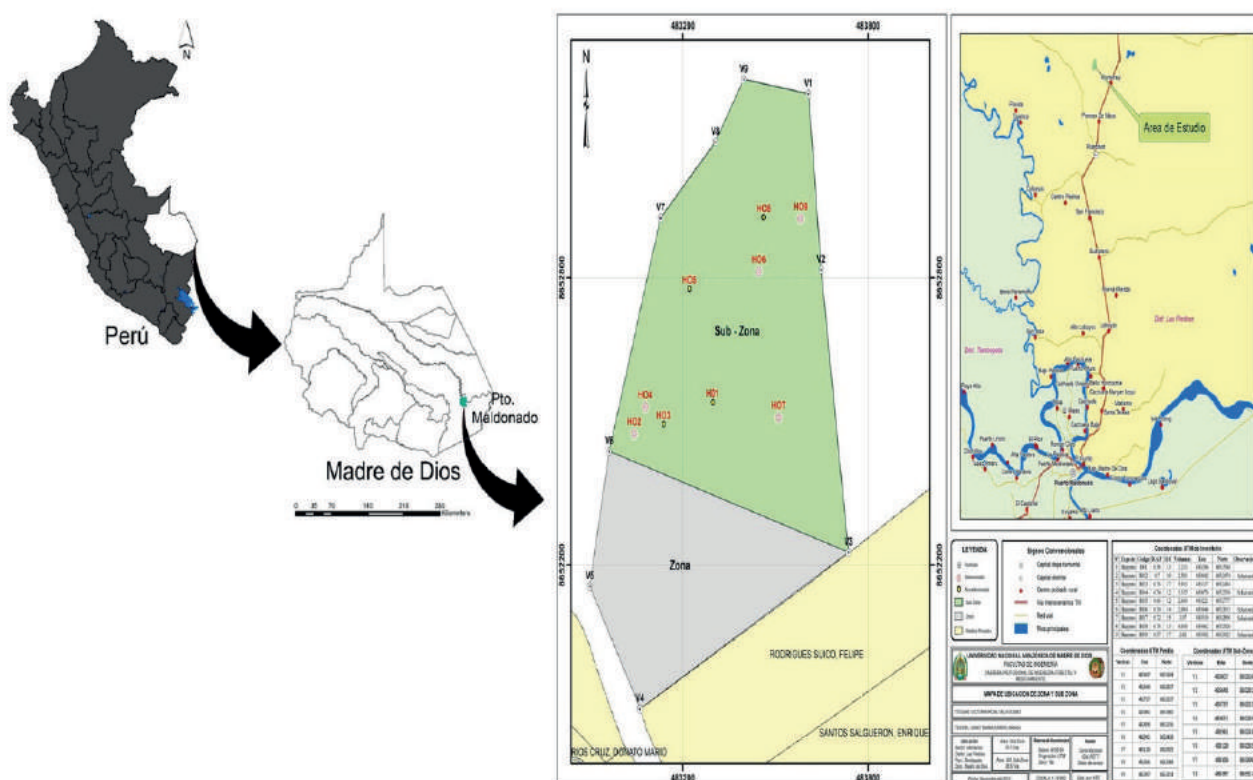
El objetivo de esta investigación se desprende de los párrafos antes señalados, donde el objetivo general fue caracterizar la anatomía y propiedades de la especie *Ormosia paraensis* Ducke proveniente de la Amazonía suroriental del Perú.

METODOLOGÍA

Área de Estudio

La presente investigación, se realizó en la Amazonía peruana, en la capital de la biodiversidad del Perú, en el departamento de Madre de Dios frontera con el Brasil y Bolivia, según la clasificación de Köppen, específicamente tomamos las muestras en el predio agrícola de la señora Rosa Vela, en el sector de Monterrey, la zona cuenta con 70.73 hectáreas (Figura 1).

Figura 1. Mapa de ubicación del estudio tecnológico de la madera de *Ormosia paraensis* Ducke.



Especie seleccionada e inventario

Se seleccionó la especie forestal *Ormosia paraensis* Ducke, para esta investigación con base a la carente información tecnológica de la especie no solamente en el departamento de Madre de Dios, sino también en el Perú. *O. paraensis*, es una especie esciófita parcial.

Antes de realizar el inventario forestal, el área de 70.73 hectáreas, se subdividió en una sub zona, donde se realizó el inventario forestal de la especie *Ormosia paraensis* Ducke (Tabla 1), con la finalidad de obtener el volumen (m^3) por unidad de superficie (ha) de la especie mencionada en la Sub Zona seleccionado, asimismo sirvió para la determinación de la población, muestra y selección de los árboles; dicho inventario se realizó en árboles con diámetro a la altura del pecho “DAP” ≥ 40 cm, donde la sub zona presento un volumen de $0.74 m^3/ha$ y un número de 0.23 árb/ha .

Tabla 1. Inventario Forestal de la especie *Ormosia paraensis*.

INVENTARIO FORESTAL							
Nº	Especie	Código	D.A.P	H.C	Volumen	Este	Norte
			(m)	(m)	(m³)		
1	Huayruro	H01	0.58	13	2.233	483296	8652540
2	Huayruro	H02	0.70	10	2.501	483042	8652474
3	Huayruro	H03	0.76	17	5.013	483137	8652494
4	Huayruro	H04	0.74	12	3.355	483078	8652530
5	Huayruro	H05	0.66	12	2.669	483221	8652777
6	Huayruro	H06	0.54	14	2.084	483446	8652813
7	Huayruro	H07	0.72	15	3.97	483510	8652508
8	Huayruro	H08	0.78	13	4.038	483462	8652926
9	Huayruro	H09	0.57	17	2.82	483582	8652923
TOTAL	9				28.681		

Selección de los árboles de *O. paraensis*

Una vez realizado el inventario forestal dentro de la sub zona del predio agrícola de las especie en estudio *O. paraensis*, los cuales como resultado se tuvo un inventariado 09 árboles de dicha especie, de los cuales se seleccionaron al azar 05 árboles de *O. paraensis*, pero tomando siempre en cuenta que los arboles seleccionado tuvieran buenas características fitosanitarias, de fuste lo más recto y alto posible, teniendo en consideración las características morfológicas de la especie, este número de muestras basados en la Norma Técnica Peruana de sección y colección de muestras (NTP N°251.008, 2016) . De los árboles seleccionados (05), se obtuvieron muestras botánicas, corteza, semillas de las especies, los cuales fueron identificados botánicamente e depositados en el Herbario Mol de la Universidad Nacional Agraria La Molina, con el número de código (01-JCA).

Tabla 2. Árboles seleccionados al azar de Huayruro.

Nº	Especie	Codigo	D.A.P	H.C	Volumen	Este	Norte	Observaciones
			(m)	(m)	(m³)			
1	Huayruro	H 01	0.58	13	2.501	0483042	8652474	Presenta frutos
2	Huayruro	H 02	0.74	12	3.355	0483078	8652530	Sin frutos
3	Huayruro	H 03	0.54	14	2.084	0483446	8652813	Sin frutos
4	Huayruro	H 04	0.72	15	3.970	0483510	8652508	Presenta frutos
5	Huayruro	H 05	0.57	17	2.820	0483582	8652923	Presenta frutos

Selección de las trozas, viguetas y probetas

Una vez seleccionados los árboles de manera al azar (Tabla 2), se realizó el talado de los 05 árboles de Huayruro, después se procedió a marcar la totalidad del fuste en trozas de 1.30 m con la finalidad de cortar el tablón central de 15 cm, como señala la (NTP N°251.008, 2016), cada troza se codifico con letras consecutivas, de la base del árbol al fuste (Figura 2).

Una vez obtenido el tablón central de 15 cm de espesor, se procedió a obtener viguetas de 15x5x5 cm, que también estuvo codificado secuencialmente, posteriormente se seleccionó al azar la vigueta excluyendo la zona de la médula. Una vez con la vigueta seleccionada se obtuvo las xilotecas, cubos del grano parra el estudio anatómico y las probetas de 3x3x10 cm, para las propiedades físicas (NTP N°251.008, 2016).

Figura 2. Fase de Campo: **A)** Georeferenciación de los árboles de *Ormosia paraensis*. **B)** Tumbado de los árboles. **C)** Obtención de las trozas. **D)** Medición para la obtención del tablón central. **E)** Obtención de las viguetas. **F)** Pintando los extremos de las viguetas de *O. paraensis*.



Análisis de las características anatómicas

Las características anatómicas de la especie *O. paraensis* (generales, macroscópicas y microscópicas), estuvieron basados en normas internacionales, ya que el Perú no cuenta con una norma para el estudio anatómico. Estas normas son Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1974) y “Descripción de Características Organolépticas, Macroscópicas y Microscópicas de Dicotiledóneas, Angiospermas” e International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989) (Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera).

Descripción anatómica de la Madera a nivel macroscópico.

Para la determinación del grano se usó las probetas de 5x5x5 cm procedentes del duramen, para lo cual se utilizó una cuchilla y un martillo para partir el cubo en sentido de los radios y así de esa manera se identificó el tipo de grano. La descripción del brillo, vetado, poros, parénquima, radios se utilizó las tablillas de 2x10x15 cm para lo cual se empleó una lupa de 10X. Las características organolépticas como: olor, sabor, color de la madera se usaron probetas. Las rodajas, se utilizó para hallar diferenciación entre albura y duramen lo cuales fueron útiles para discutir los resultados.

Descripción anatómica de la Madera a nivel microscópico.

Para esta parte de la investigación se confeccionaron láminas histológicas (transversal, radial y tangencial) y tejido macerado (fibras y vasos) de los 05 árboles seleccionados de Huayruro. Para la obtención de las láminas histológicas y de tejido macerado se empleó el procedimiento utilizado por el laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (Figura 3).

Las características organolépticas, macroscópicas y microscópicas de la especie *Ormosia paraensis* Ducke, se complementa con macrofotografías y microfotografías en las secciones: Transversal, radial y tangencial y de aspectos más resaltantes de la especie.

Análisis de las propiedades físicas de la madera

Las propiedades físicas analizadas de la especie *O. paranaensis*, fueron las Densidades: básicas, normal y anhidra; contenido de humedad; contracciones: volumétrica, tangencial, radial y el índice de estabilidad (T/R), los ensayos se ejecutaron de acuerdo a especificaciones de la Norma Técnica Peruana. Método de determinación del Contenido de Humedad, Método de determinación de la Densidad y Método de determinación de la Contracción (NTP N°251.010, 2016; NTP N°251.011, 2016; NTP N°251.012, 2016).

De cada una de las probetas por árbol de *O. paranaensis*, se procedió a determinar el peso inicial, dimensiones: volumétrica inicial, radial inicial, tangencial inicial y longitudinal inicial. El volumen se determinó por el método de desplazamiento de agua o inmersión. Las dimensiones se determinaron con un micrómetro, con una precisión de ± 0.01 mm y el peso con una balanza de precisión de ± 0.01 gramos. Luego se secaron las probetas en estufa, y se incrementó gradualmente la temperatura de 40°, 60°, 80° hasta que se alcance los 103° $\pm$ 02° c. Durante el tiempo que se secaron las probetas en la eufa, se realizó el pesado tomando datos diariamente en el peso de cada probeta, teniendo cuidado de colocarlas en un desecador (provista de silicagel) para que se enfriaran a temperatura ambiente.

Cuando las probetas alcanzaron su peso constante se determinaron las dimensiones finales y el volumen final (Figura 3). Las fórmulas utilizadas en todo el proceso de las propiedades físicas, en función a las Normas Técnicas Peruanas mencionadas en el párrafo anterior (Tabla 3).

Tabla 3. Formulas aplicadas al estudio de la madera de la especie *O. paranaensis*.

Formulas	Descripción de los caracteres
$CH (\%) = \frac{mh - mo}{mo} * 100$	mh = Peso saturado (gr) mo = Peso seco al horno (gr)
$D = \frac{m}{V} \text{ g/cm}^3$	m = Peso (gr) v = Volumen (cm ³)
$CV (\%) = \frac{Vs - Vo}{Vs} * 100$	Vs = Volumen de la Probeta saturada (cm ³) Vo = Volumen de la probeta seca al horno (cm ³)
$Ctg (\%) = \frac{Ts - To}{Ts} * 100$	Ts = Dimensión tangencial saturada (cm ³) To = Dimensión tangencial seca al horno (cm ³)
$Crd (\%) = \frac{Rs - Ro}{Rs} * 100$	Rs = Dimensión radial saturada (cm ³) Ro = Dimensión radial seca al horno (cm ³)
$Clong (\%) = \frac{Ls - Lo}{Ls} * 100$	Ls = Dimensión longitudinal saturada (cm ³) Lo = Dimensión longitudinal seca al horno (cm ³)

Tratamiento de los datos

Para el análisis estadístico se utilizó el software R (R CORE TEAM, 2019), tanto para obtener los valores promedios de las características anatómicas y de las propiedades físicas de la madera de los 05 árboles de Huayruro seleccionados al azar.

Figura 3. Fase de Laboratorio: **A)** Observación de las láminas histológicas. **B)** Tejido macerado de los cinco árboles. **C)** Micrótomos de deslizamiento horizontal (obtención de muestras). **D)** Codificación de las probetas de las propiedades físicas. **E)** Obtención del peso de cada probeta. **F)** Micrómetro digital (medición de las dimensiones).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nombre científico: *Ormosia paraensis* Ducke.

Familia : Fabaceae – Papilionaceae.

Nombre popular: Huayruro viudo.

Características Organolépticas.

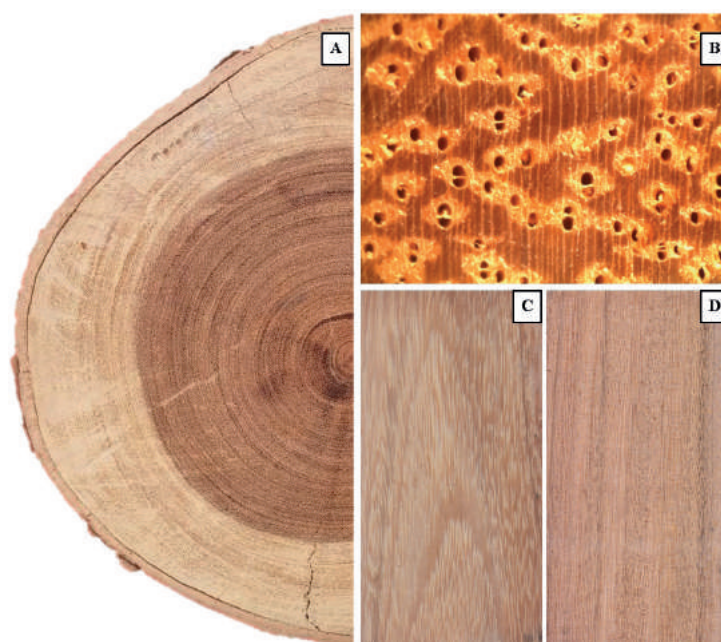
En condición seca al aire, existe cambio abrupto de albura a duramen (Figura 4). La albura es de color blanco amarillento (5 YR 8/4), ocupa un 54.7% de la sección transversal y el duramen de color marrón claro rojizo (5R 6/8), ocupa un 45.3% de la sección transversal (rodaja). Anillos de crecimiento distintos, el límite de las camadas de crecimiento es

caracterizado por la variación de la densidad que se da por la presencia de zonas fibrosas, de forma regular y presenta potencial para estudios futuros en dendrocronología. Olor y sabor no distintivos, grano entrecruzado, textura media, brillo medio, veteado en el corte tangencial en arcos superpuestos generados por los anillos de crecimiento y en el corte radial satinado generado por el grano entrecruzado. Moderadamente dura al corte con cuchilla.

Descripción Macroscópica.

Madera de porosidad difusa. **Vasos** visibles a simple vista, medianos y poco abundantes, mayormente solitarios y escasos múltiples radiales de 2 a 3, de forma redonda, ocasionalmente obstruido por gomas. **Parénquima** del tipo paratraqueal aliforme y aliforme confluyente romboide (Figura 4). **Radios** visibles con lupas de 10x, finas y numerosas, no estratificadas. **Inclusiones** gomas.

Figura 4. A. Rodaja de la madera de *Ormosia paraensis* Ducke. Cortes macroscópicos de la madera de *O. paraensis* Ducke. B. Corte transversal. C. Corte tangencial. D. Corte Radial.



Descripción Microscópica.

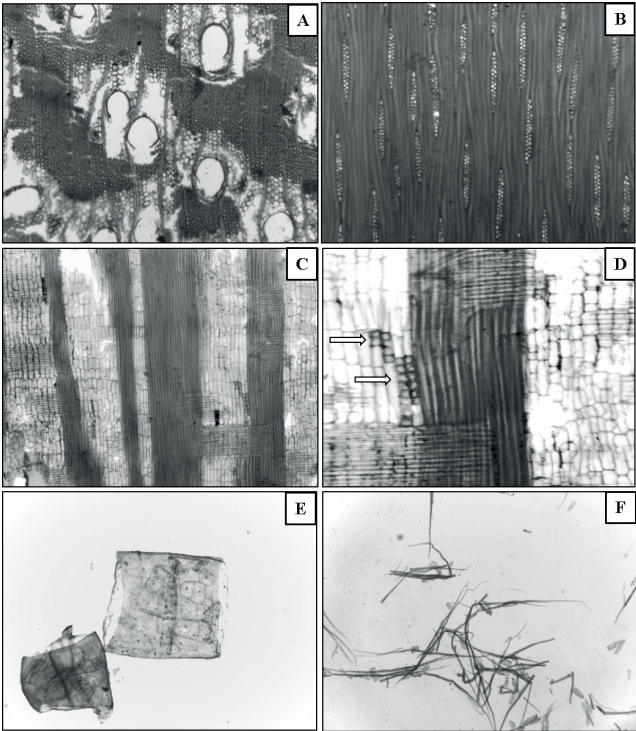
Elementos de Vasos con cerca de $2 (\pm 0.83)$ vasos/mm² clasificados como muy pocos, disposición radial, contorno circular a oval; longitud promedio de $229.9 (\pm 85.84)$ μm clasificados como pequeños; diámetro tangencial promedio de $195 (\pm 49.36)$ μm clasificado como medianos; placa de perforación simples, puntuaciones intervasculares alternas, no guarnecidas, contorno poligonal; puntuaciones radiovasculares similares a las intervasculares en forma y tamaño. **Fibras** libriformes, no septadas, longitud promedio de $1160.1 (\pm 89.18)$ μm clasificados como cortas; diámetro promedio de $16.8 (\pm 4.20)$ μm ; lumen en promedio de 8.6

(± 2.89) μm ; espesor de pared en promedio de 4.1 (± 1.06) μm . **Parénquima axial** del tipo paratraqueal aliforme y aliforme confluyente, no estratificado. **Radios** cerca de 2 (± 0.76) /mm, heterocelulares, mayormente biseriados, ancho en promedio de 46.8 (± 11.82) μm ; altura en promedio de 468.6 (± 76.92) μm ; número de células de ancho en promedio de 2 (± 0.27) células; número de células de alto promedio de 17 (± 2.43) células; número, compuesto mayormente por células procumbentes; sin estratificación (Tabla 4). Inclusiones minerales presencia de cristales prismáticos en las células del parénquima axial de forma romboide, formando series cristalíferas (Figura 5).

Tabla 4. Ficha Biométrica de *Ormosia paraensis*

Variable	Nº de datos	Promedio	Desv. Estandar	Valor mínimo	Valor máximo	C.V (%)
Diámetro Tangencial de poros μm	125	195.0	49.36	108.16	333.87	25
Numero de poros/ mm^2	125	2.0	0.83	1	5	42
Altura de radios μm	125	468.6	76.92	287.84	646.24	16
Ancho de radios μm	125	46.8	11.82	19.2	75.62	25
Células de alto en radios	125	17.1	2.43	12	24	14
Células de ancho en radios	125	2.0	0.27	0	3	13
Número de radios/ mm	125	2.3	0.76	1	4	33
Diámetro total de fibras μm	125	16.8	4.20	6.78	20.99	25
Espesor de pared de fibras μm	125	4.1	1.06	1.82	5.38	26
Longitud de fibras μm	125	1160.1	89.18	1061.29	1272.22	8
Longitud de elementos vasculares μm	125	229.9	85.84	89.92	380.95	37

Figura 5. Cortes microscópicos de la especie *Ormosia paranaensis* Ducke. **A.** Corte transversal. **B.** Corte tangencial. **C.** Corte Radial. **D.** Cadena de cristales en las células de parénquima. **E.** Elementos vasculares. **F.** Fibras.



Comparación de las características macroscópicas de *Ormosia paraensis*, con otras especies del género *Ormosia*.

A continuación, se muestra las características macroscópicas de siete especies del género *Ormosia* (Tabla 05).

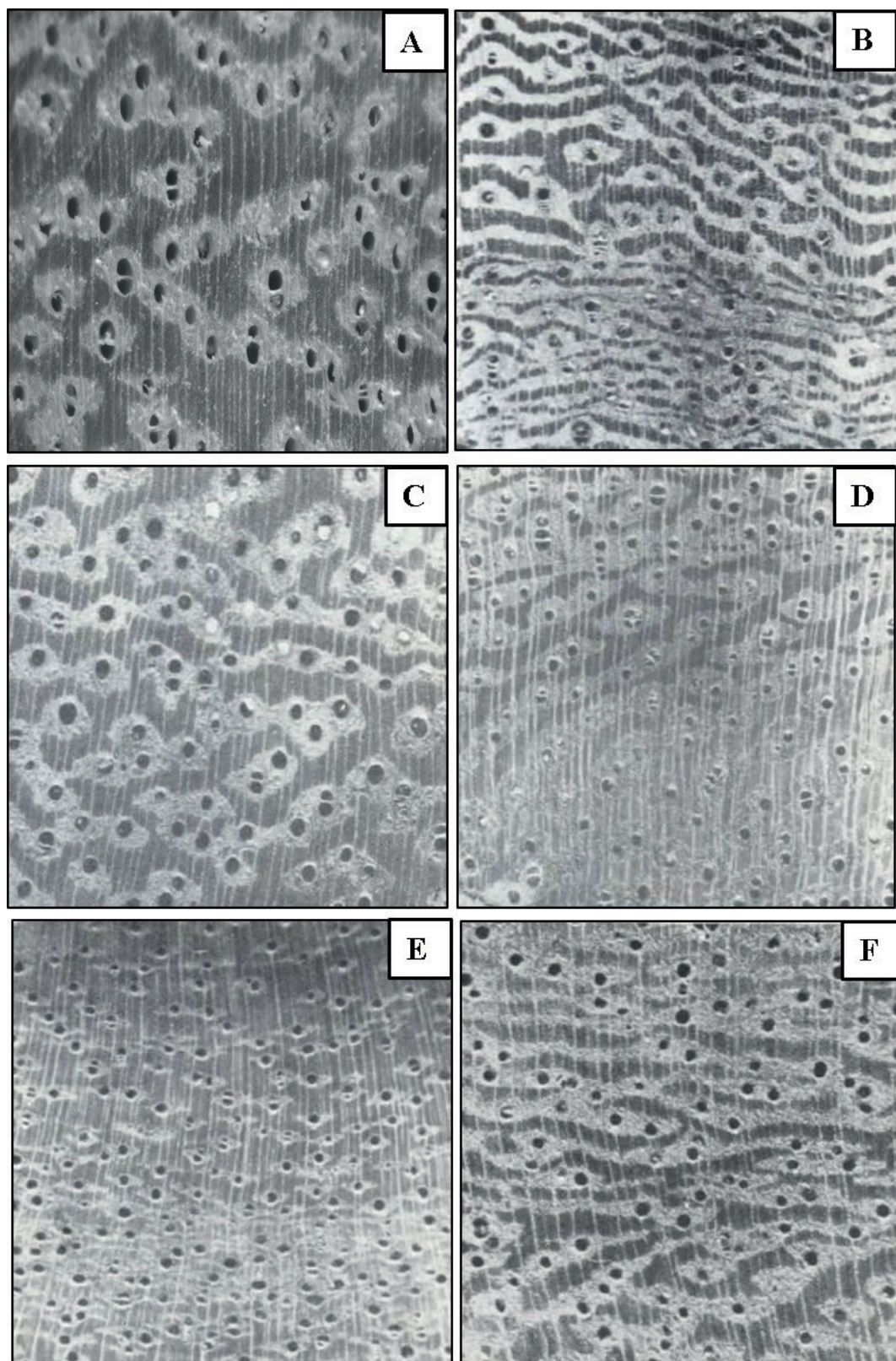
Tabla 5. Características macroscópicas de siete especies del género *Ormosia*

Características anatómicas	<i>Ormosia paraensis</i>	<i>Ormosia coccinea</i> ¹	<i>Ormosia costulata</i> ¹	<i>Ormosia flava</i> ¹	<i>Ormosia macrocalyx</i> ¹	<i>Ormosia nobilis</i> ¹	<i>Ormosia lignivalvis</i> ²
Textura	Media	Media a gruesa	Poco gruesa	Gruesa	Poco gruesa	Media	Gruesa
Grano	Entrecruzado	Entrecruzado	Entrecruzado	Oblicuo	Entrecruzado	Entrecruzado	Entrecruzado
Sabor	No distintivo	Levemente amargo	No distintivo	Levemente amargo	No distintivo	No distintivo	No distintivo
Olor	No distintivo	No distintivo	No distintivo	--- ---	No distintivo	No distintivo	No distintivo
Vasos	Mayormente solitarios escasos múltiples de 2-3	Mayormente solitarios escasos múltiples de 2-3	Mayormente solitarios escasos múltiples de 2,3,4 y 5	Mayormente solitarios escasos múltiples de 2-3	Mayormente solitarios escasos múltiples de 2-3	Mayormente solitarios escasos múltiples de 2-3	Solitarios y múltiples radiales de 2-4
Parénquima	Aliforme y aliforme confluyente	Aliforme confluyente	Aliforme confluyente	Aliforme confluyente	Aliforme y aliforme confluyente	Aliforme y aliforme confluyente	Vasicéntrico, aliforme y aliforme confluyente
Anillos de crecimiento	Zonas fibrosas	Indefinidas	No diferenciado	Eventualmente indefinidas	Zonas fibrosas	No diferenciado	No diferenciado
Inclusión	Gomas	Gomas	Gomas	Eventualmente gomas	Gomas	Gomas	Gomas

1= (LOUREIRO; LISBOA, 1979) 2= (LEÓN, 2015)

Del cuadro anterior se puede observar que las especies del género *Ormosia* guardan características comunes entre ellas. Teniendo la especie *Ormosia paraensis*, características más semejantes con: *O. coccinea* y *O. nobilis*. Existen otras características organolépticas, macroscópicas y microscópicas no evaluadas en la presente investigación que separaran las maderas de estas especies a nivel anatómico (Figura 6).

Figura 6. Cortes transversales de seis especies del género *Ormosia*: **A.** *Ormosia paranaensis*. **B.** *Ormosia costulata*. **C.** *Ormosia flava*. **D.** *Ormosia macrocalyx*. **E.** *Ormosia nobilis*. **F.** *Ormosia coccinea*. Fotos: B, C, D, E y F (LOUREIRO; LISBOA, 1979).



Propiedades Físicas de la Madera:

En la Tabla 6, se presenta los valores promedios, rangos y coeficiente de variación de los 05 árboles estudiados de *Ormosia paraensis* Ducke.

Tabla 6. Valores promedios de las propiedades físicas de *Ormosia paraensis* Ducke. (Huayruro viudo).

Contenido de Humedad (%)	Densidad Básica (g/cm ³)	Densidad Normal (g/cm ³)	Densidad Anhidra (g/cm ³)	Contracciones (%)				Índice de Estabilidad
				Longitudinal	Radial	Tangencial	Volumétrica	
91.52	0.63	1.20	0.71	0.16	4.83	9.86	11.80	2.08
s	0.03	0.03	0.03	0.06	0.72	1.19	1.96	0.34
C.V	4	2	4	36	15	12	17	16

La densidad básica del Huayruro viudo promedio de 0.63 g/cm³, permite clasificar, de acuerdo a los propuesto por (ACEVEDO; CHAVESTA, 1991; ARÓSTEGUI, 1982), dentro del grupo IV (0.61 g/cm³ a 0.75 g/cm³) que corresponde a madera de alta densidad.

La contracción volumétrica total promedio de 11.80% del Huayruro viudo, la ubica dentro del grupo III (10.1-13%), que corresponde a un cambio dimensional medio. Si bien existe una relación directa entre la densidad básica y la contracción volumétrica, a mayor proporción de la pared celular (mayor densidad), mayor será el efecto del agua higroscópica (contracción). Sin embargo, en el caso de *O. paraensis*, se tiene una alta densidad y una contracción volumétrica media, esto debido a que la densidad de 0.63 g/cm³ está cerca al límite de clasificación de la densidad media que es (0.41 a 0.60 gr/cm³).

El índice de estabilidad promedio del Huayruro viudo es de 2.08, permitiendo clasificarla como estable y de buen comportamiento al secado (1.51 a 2.50) (SIBILLE, 2006), información que se puede inferir desde las propiedades físicas de la madera hacia el secado de la madera de Huayruro viudo, con la salvedad que necesita estudios específicos sobre el secado de esta especie para confirmar la información.

Comparación de las propiedades físicas de *O. paraensis* Ducke con otras especies de similar densidad básica.

La madera de *O. paraensis* Ducke, al compararse con especies de similar densidad básica (Figura 10) como:

Hymenolobium excelsum Ducke. (Angelim da mata). Densidad básica de 0.63 g/cm³, contracción tangencial 7.38%, contracción radial 4.77% y contracción volumétrica 12.15%(ANDRADE, 2015).

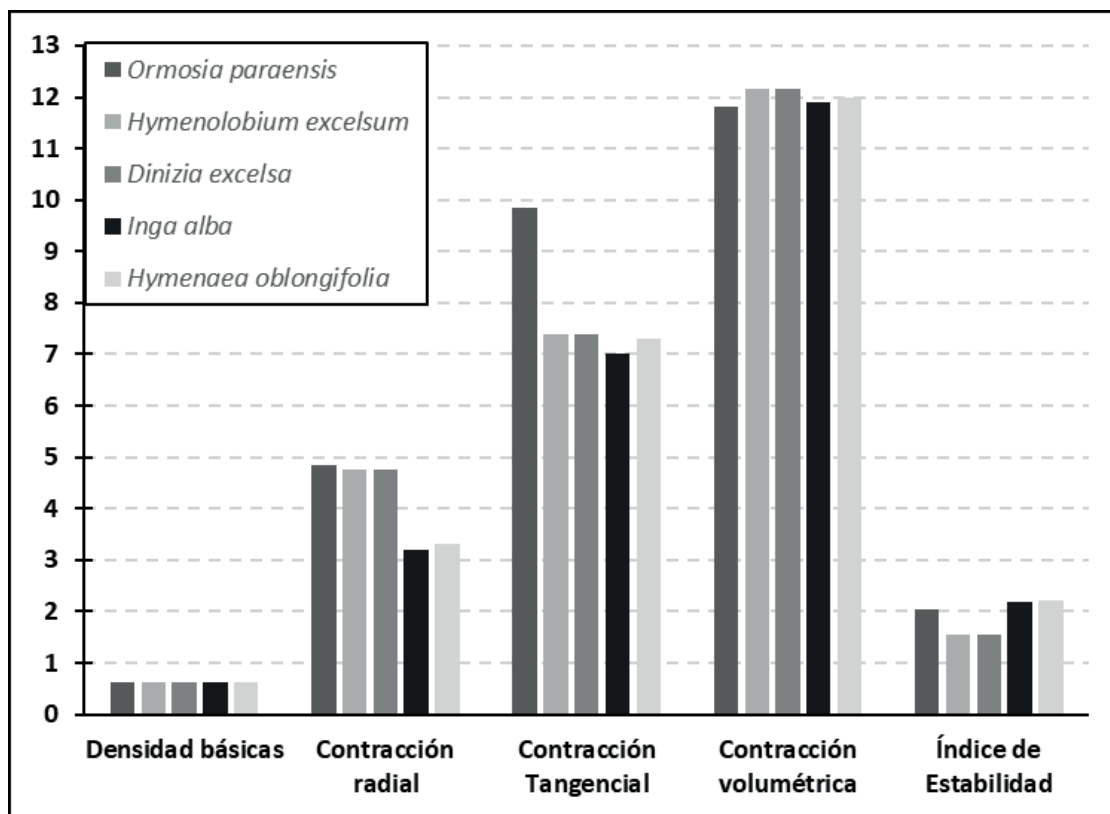
Dinizia excelsa Ducke. (Angelim vermelho). Densidad básica de 0.63 g/cm³, contracción tangencial 7.38%, contracción radial 4.77% y contracción volumétrica 12.15%(ANDRADE, 2015).

Inga alba Sw. Willd. (Ingá chi chi). Densidad básica de 0.63 g/cm³, contracción tangencial 7.0%, contracción radial 3.2% y contracción volumétrica 11.9% (MAINIERI; CHIMELO, 1989).

Hymenaea oblongifolia Huber. (Azucar huayo). Densidad básica de 0.62 g/cm³, contracción tangencial 7.30%, contracción radial 3.30% y contracción volumétrica 12.0% (CITEMADERA, 2008).

Se observa (Figura 7) que los valores promedio de la contracción radial, volumétrica y el índice de estabilidad se encuentran en promedio a las otras especies, sin embargo, cuando se analiza la contracción tangencial si presenta diferencias significativas que caracteriza a la especie. Sin embargo, a pesar de esta característica de *O. paraensis*, se puede observar que el índice de estabilidad es similar estas especies de similar densidad básica.

Figura 7. Comparación de las propiedades físicas de *O. paraensis*, con aquellas especies de similar densidad básica.



Comparación de las propiedades físicas de la madera de *Ormosia paraensis* Ducke, con otras especies del género *Ormosia*.

Información tecnológica de la especie *Ormosia paraensis* Ducke, es escasa e insuficiente, no existiendo información para poder realizar alguna comparación con otros estudios, es por esta razón que se hace una comparación con otras especies del género *Ormosia*, que si bien existe información es relativamente antigua y aun así escasa. Especies del género *Ormosia* con información de propiedades físicas:

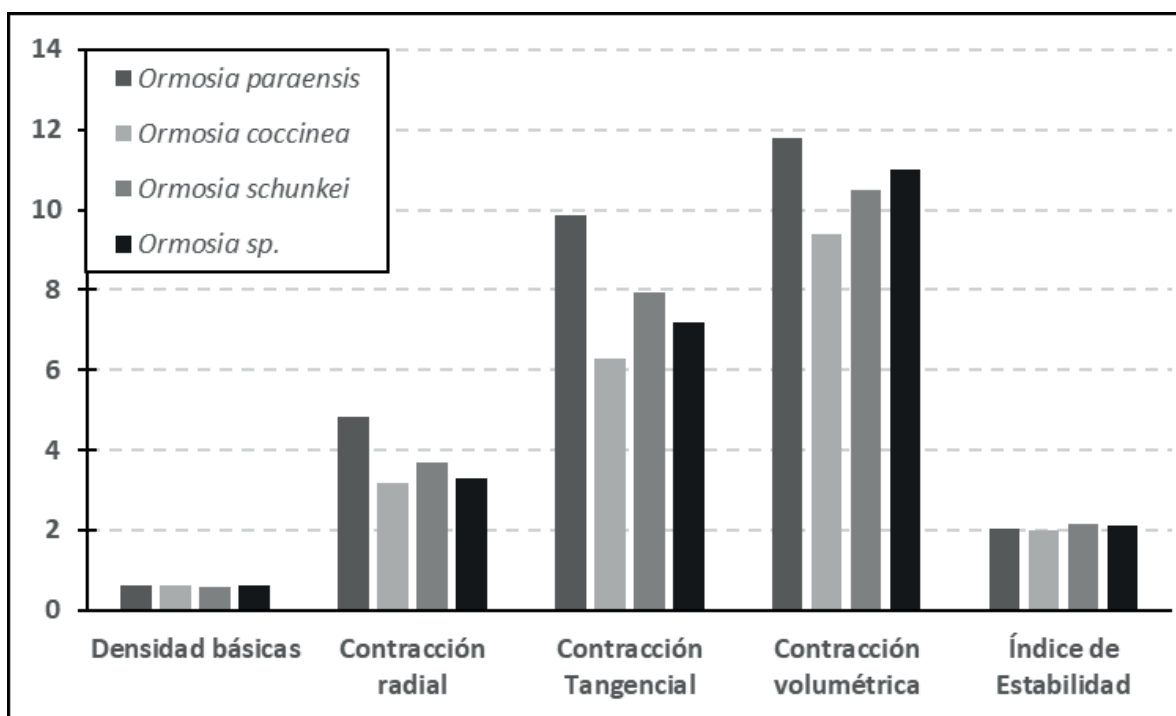
Ormosia coccinea (Aubl.) Jacks. (Huayruro). Densidad básica de 0.61g/cm³, contracción tangencial 6.3%, contracción radial 3.19%, contracción volumétrica 9.4% y el índice de estabilidad 2 (CHAVESTA, 2005).

Ormosia schunkei Rudd. (Huayruro). Densidad básica de 0.57g/cm³, contracción tangencial 7.94%, contracción radial 3.7%, contracción volumétrica 10.5% y el índice de estabilidad 2.15 (ARÓSTEGUI, 1982).

***Ormosia* sp.** (Huayruro). Densidad básica de 0.63g/cm³, contracción tangencial 7.2%, contracción radial 3.3%, contracción volumétrica 11% y el índice de estabilidad 2.10 (ARÓSTEGUI, 1974).

Se observa (Figura 8) que los valores promedio de la densidad básica y el índice de estabilidad de las especies del género *Ormosia* son similares entre ellas y sobre las contracciones: radial, tangencial y volumétrica se observa que en todos los casos la especie *O. paraensis*, presenta valores más altos.

Figura 8. Comparación de las propiedades físicas de *O. paraensis*, con especies del género *Ormosia*.

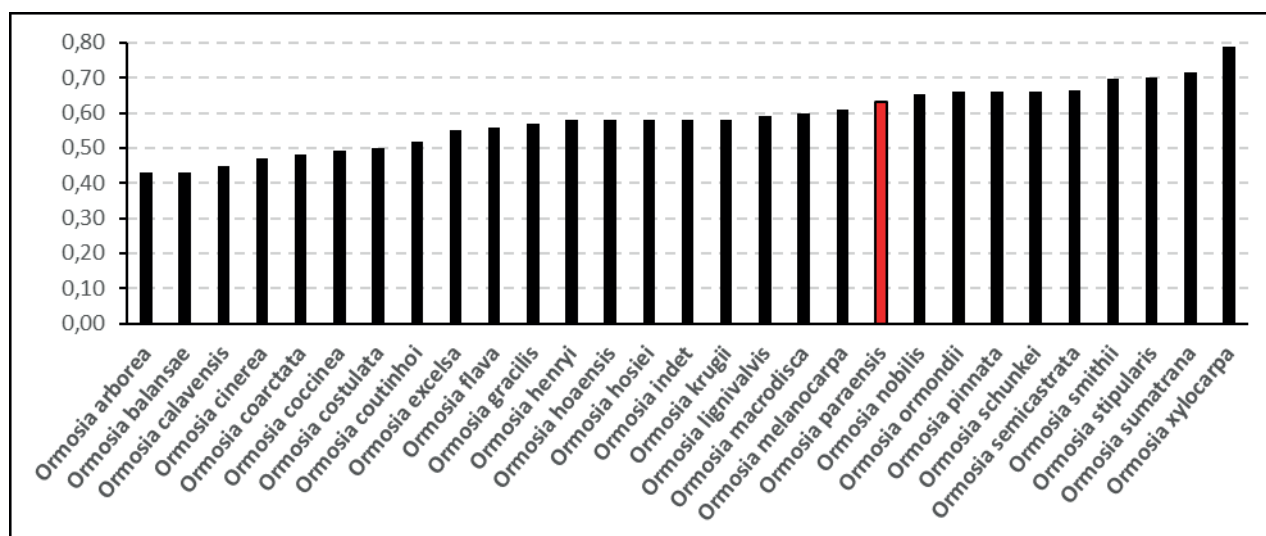


Comparación de la densidad básica de la madera de *Ormosia paraensis* Ducke, con otras especies del género *Ormosia*.

Con la base de datos de Global wood density database, creada el por (ZANNE *et al.*, 2009), y disponible en la página web: <https://datadryad.org/handle/10255/dryad.235>. Se puede realizar la comparación de *O. paraensis*, con otras especies del género *Ormosia* estudiadas en el mundo y sistematizada en la base de datos antes mencionada.

De este análisis (Figura 9), se puede observar que el rango de la variación de la densidad básica del género *Ormosia* se encuentra entre 0.43 – 0.79 g/cm³, y que si se analiza con la clasificación de maderas propuesto por (ACEVEDO; CHAVESTA, 1991; ARÓSTEGUI, 1982), las especies de este género se clasifican cualitativamente por ser maderas de densidad básica media, alta a muy alta.

Figura 9. Comparación de la densidad básica de la madera de *Ormosia paraensis* Ducke, con otras especies del género *Ormosia*.



Uso de la madera de *Ormosia paraensis* Ducke.

En función a la anatomía y las propiedades físicas de la madera de la especie *O. paraensis*, conocido comúnmente por Huayruro viudo, los posibles usos para esta especie en estudio son: Construcciones pesadas, puentes y traviesas, pisos, chapas decorativas, ebanistería, mobiliario, carpintería de interior y exterior, instalaciones de lujo, escaleras, mangos de herramientas, trabajos de torno, cepillos, brochas, entarimados y artesanías.

CONCLUSIÓN

En conclusión, damos a conocer la anatomía y propiedades físicas de la madera de la especie *Ormosia paraensis*, en la Amazonía suroriental peruana, dicha especie muestra un gran potencial para su aprovechamiento y comercialización según sus propiedades tecnológicas. Y que fácilmente puede ayudar a remplazar otras maderas de similar densidad básica en el departamento de Madre de Dios en Perú.

REFERENCIAS

1. ACEVEDO, M.; CHAVESTA, M. **Informe sobre fichas tecnológicas de la madera y asignación a grupos tecnológicos**. Lima - Perú: Proyecto Dantas., 1991.
2. ALI, A.; UETIMANE, E.; LHATE, I.; TERZIEV, N. Anatomical characteristics, properties and use of traditionally used and lesser-known wood species from Mozambique: a literature review. **Wood Science and Technology**, vol. 42, n.º 6, p. 453-472, 2008. <https://doi.org/10.1007/s00226-008-0186-5>.

3. ANDRADE, A. **WOODFLOORING: BRAZILIAN SPECIES CHARACTERISTICS**. Piracicaba - Brasil: ANPM, 2015.
4. ARÓSTEGUI, A. **Características Tecnológicas y Usos de la Madera de 145 Especies del País**. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, Ministerio de Agricultura, 1974. vol. I, .
5. ARÓSTEGUI, A. **Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas**. [S. l.]: PNUD-FAO, 1982(, (Documento de trabajo N°2)).
6. BRAGA, M.; MATOS, T.; ANDRADE, G.; FERREIRA, P.; SILVA, M.; SOUZA, F.; MELO, L. Technological properties of woods used in boat's production in the Southeast of Pará, Brazil. **Rodriguésia**, vol. 71, p. e03322018, 2020. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202071083>.
7. CHAVESTA, M. **Maderas para Pisos**. Lima - Perú: [s. n.], 2005.
8. CITEMADERA. **32 ESPECIES FORESTALES**. Segunda. Lima - Perú: Confederación Peruana de la Madera., 2008. vol. Tomo II, .
9. COPANT. **Maderas: Método para la descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas de las maderas angiospermas y dicotiledóneas: anteproyecto de Norma**. Caracas-Venezuela: COPANT 30: 1 – 019, 1974.
10. IAWA. with an Appendix on non-anatomical information. , p. 116, 1989. .
11. LEÓN, W. Anatomía de la madera de 87 especies de la reserva forestal ticoporo (Barinas, Venezuela). **Revista Pittieria**, n.º 39, p. 107–169, 2015.
12. LOUREIRO, A. A.; LISBOA, P. L. B. Anatomia do lenho de seis espécies de Ormosia (Leguminosae) da Amazônia. **Acta Amazonica**, vol. 9, n.º 4, p. 731–746, 1979.
13. MAINIERI, C.; CHIMELO, J. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. Libro impreso. [S. l.]: São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras, 1989., 1989(Publicação IPT, no. 1791).
14. NTP N°251.008. Maderas. Selección y Colección de Muestras. 2016.
15. NTP N°251.010. Maderas. Método de Determinación de Contenido de Humedad. 2016.
16. NTP N°251.011. Maderas. Método de Determinación de Densidad. 2016.
17. NTP N°251.012. Maderas. Método de Determinación de Contracción. 2016.
18. PEÑA, J.; ROIG, F.; GOODWIN, Z.; TOMAZELLO, M. Characterizing growth rings in the trees of Perú: a wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. **Dendrochronologia**, , p. 125728, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>.
19. R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Vienna: [s. n.], 2019. Disponible en: <http://www.R-project.org>.
20. SIBILLE, A. **Guía de Procesamiento Industrial Fabricación de Muebles con Maderas Poco Conocidas-LKS**. WWF Perú a través del Proyecto CEDEFOR. Lima - Perú: Primera, 2006.
21. VÁSQUEZ, R.; ROJAS, R.; MONTEAGUDO, A.; VALENZUELA, L.; HUAMANTUPA, I. **Catálogo de los árboles del Perú**. Cusco-Perú: Q'EUÑA, 2018. vol. 9, (, 1).

22. WENQI, Z. Comparative study of wood properties between white wood of Dahurian larch and Mongolian scotch pine. **Journal of Forestry Research**, vol. 7, n.º 1, p. 77-80, 1996. <https://doi.org/10.1007/BF02843062>.
23. WIEDENHOEFT, A. Structure and Function of Wood. *In*: ROWELL, R. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition**. [S. l.]: CRC Press, 2012. p. 9-32. DOI 10.1201/b12487-4. Disponível em: <http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/b12487-4>. Acessado em: 31 oct. 2020.
24. ZANNE, A. E.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; COOMES, D. A.; ILIC, J.; JANSEN, S.; LEWIS, S. L.; MILLER, R. B.; SWENSON, N. G.; WIEMANN, M. C.; CHAVE, J. Global Wood Density Database. 20 feb. 2009. <https://doi.org/Dryad>. Identifier: <https://datadryad.org/handle/10255/dryad.235>. Acessado em: 16 mar. 2018.

“ Propriedades tecnológicas de sete espécies provenientes da arborização urbana

- I Debora **Klingenberg**
USP
- I Adriana Maria **Nolasco**
USP
- I Ananias Francisco **Dias Júnior**
UFES
- I Elias Costa de **Souza**
USP

RESUMO

A poda e supressão de árvores no ambiente urbano são responsáveis pela geração de grande quantidade de resíduos madeireiros nas cidades brasileiras, sendo comum a disposição em aterros, áreas de descarte irregular de resíduos sólidos e a queima a céu aberto. **Objetivo:** diante disso, esse estudo tratou de analisar as propriedades físicas dos resíduos madeireiros provenientes de sete espécies mais utilizadas na arborização urbana no Estado de São Paulo, visando conhecer seu potencial de uso. **Métodos:** foram coletadas na cidade de Piracicaba, SP, amostras compostas dos galhos de três árvores de cada uma das seguintes espécies: *Nectandra megapotamica*, *Terminalia catappa*, *Ficus benjamina*, *Delonix regia*, *Licania tomentosa*, *Cenostigma pluviosum* e *Tipuana tipu*. Foi determinada a umidade, densidade básica e aparente, e as contrações axiais, radiais e tangenciais de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997). **Resultados:** observou-se que os maiores valores para a densidade básica e aparente foram atribuídos para a espécie *Cenostigma pluviosum*. Em contrapartida, observou-se valores inferiores de umidade, e de contração (axial, radial e tangencial) para a espécie *Ficus benjamina*. Constatou-se correlação positiva significativa entre a densidade básica e densidade aparente para as espécies com exceção da *Tipuana tipu*. **Conclusão:** as sete espécies foram consideradas com grande potencial para aplicação na confecção de móveis e objetos de madeira.

Palavras-chave: Valorização de Resíduos, Madeira, Pequenos Objetos de Madeira.

INTRODUÇÃO

A silvicultura urbana é um sistema administrativo múltiplo que abrange a manutenção das árvores, reciclagem dos resíduos vegetais, manejo da paisagem, das bacias hidrográficas e do habitat da fauna e o que envolve a recreação ao ar livre, em toda a área urbana e periurbana (ARAUJO e ARAUJO, 2011). A arborização, no planejamento urbano, propicia diversos benefícios para os habitantes, tais como purificação do ar, diminuição dos impactos da chuva no solo, absorção de uma parcela da poluição sonora, regula o microclima e diminui a formação de ilhas de calor (RANSAN e FIGUEIREDO, 2015). Segundo Meira (2010), os projetos de arborização urbana nas cidades do Brasil são raros e essa falta de planejamento gera maior necessidade de práticas de manejo como a poda e remoção de árvores.

A falta de planejamento, ao gerar essas incompatibilidades, acarreta a necessidade de intervenções mais intensas e frequentes por parte das prefeituras municipais ou empresas terceirizadas em relação à poda e remoção das árvores no ambiente urbano, resultando em grande quantidade de resíduo composto por galhos, fuste, raízes, folhas, flores e frutos. Os resíduos da arborização urbana são frequentemente dispostos de maneira inadequada, em aterros ou queimados a céu aberto, práticas proibidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de agosto de 2010). Algumas prefeituras já fazem o aproveitamento desse material, que geralmente é triturado e utilizado para compostagem. Entretanto, o material apresenta potencial para aplicação em diversas outras soluções, como o uso para energia, produção de móveis, pequenos objetos de madeira e outros artigos madeireiros. Mas para tanto é fundamental se conhecer suas características físicas, químicas, mecânicas e energética, dependendo da aplicação pretendida.

Dar destinação adequada aos resíduos sólidos urbanos é um dos desafios ambientais colocados para as prefeituras municipais pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Os resíduos da arborização urbana ou resíduos verdes fazem parte dos materiais classificados pela PNRS como resíduos sólidos urbanos, ou seja, aqueles cuja gestão e gerenciamento são de responsabilidade das prefeituras municipais (BRASIL, 2010). Em função das suas características de biodegradabilidade e combustibilidade, podem ser classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como resíduos Classe II-A, ou seja, não representam risco ou periculosidade para o ambiente e possuem grande potencial de aproveitamento em diferentes produtos.

Podem ser compostos por fustes, galhos, raízes, flores, folhas, frutos e sementes, resultantes dos ciclos naturais das plantas, das operações de tratos silviculturais ou, ainda, das ações de intempéries. A maior geração resulta das operações de poda de formação, quando se retiram os ramos laterais de árvores e arbustos até uma altura mínima para não prejudicar o trânsito de pedestres e outras atividades realizadas nos espaços públicos; da

poda de limpeza, que remove os ramos mortos, doentes ou muito velhos; e da de contenção, que visa adequar a copa da árvore ao espaço físico disponível, mantendo um mínimo de 30% da mesma (MEIRA, 2010).

Nas cidades brasileiras, as formas tradicionais de destinação adotadas são a disposição em aterros, áreas de descarte irregular e a queima a céu aberto. Essas práticas, além de serem proibidas pela PNRS, ainda reduzem a vida útil dos aterros devido ao volume gerado e sua lenta degradação. O descarte irregular e a queima a céu aberto podem resultar em problemas ambientais e de saúde pública, uma vez que podem liberar componentes nocivos à saúde. Ao agregar valor ao resíduo fabricando novos produtos, há geração de benefícios ambientais, sociais e econômicos, uma vez que é uma solução ambientalmente correta de destinação, podendo gerar renda e empregos aos envolvidos no aproveitamento.

Vale ressaltar que a prioridade é minimizar e evitar a geração de resíduos, mas quando já existente, que seja possível o seu aproveitamento e evite-se seu descarte. Com a aprovação da PNRS os municípios devem elaborar um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que define objetivos, diretrizes, metas e ações visando a redução da geração e a valorização dos resíduos, assim como o tratamento e disposição dos rejeitos. O PMGIRS atribui, ainda, a responsabilidade de cada ator envolvido no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2010). A PNRS prioriza ações visando reduzir a geração e valorizar os resíduos sólidos urbanos, incentivando o desenvolvimento de novas técnicas e produtos que permitem a reciclagem ou o aproveitamento desses materiais, evitando sua disposição em aterros sanitários.

Recentemente foram desenvolvidos uma série de estudos sobre o aproveitamento de resíduos lenhosos para energia, como lenha (MEIRA, 2010), carvão (VALE, 2005), combustíveis renováveis (VALE, 2005), briquetes e pellets (VALE, 2005); em compostagem (MEIRA, 2010); produtos de maior valor agregado como brinquedos (MEIRA, 2010), utilitários (STERNARD, 2002 e MEIRA, 2010), produtos para escritório, móveis (SOUZA, 2008), artigos decorativos (STERNARD, 2002 e MEIRA, 2010), artigos esportivos (STERNARD, 2002) e outros usos, como extração de óleos e resinas (VALE, 2005), painéis de madeira reconstituída (VALE, 2005), cama de animais (VALE, 2005), cobertura do solo em horticultura e floricultura, cabos de ferramentas (MEIRA, 2010), entre outros.

Meira (2010) destaca que os critérios de seleção das alternativas para aproveitamento de resíduos devem considerar a escala e sazonalidade de geração, além das características básicas e propriedades físicas, químicas e mecânicas, que podem favorecer ou limitar a utilização dos mesmos. Entretanto, ainda são escassos os estudos que caracterizam as inúmeras espécies utilizadas em arborização urbana no Brasil.

Vale (2005) caracterizou a material lenhoso proveniente da poda de árvores urbanas de Brasília, DF, com o intuito de avaliar seu potencial de uso como lenha ou carvão vegetal. Os resultados indicaram que as espécies *Caesalpinia leiostachya*, *Pterogyne nitens*,

Peltophorum dubium, *Mangifera indica*, *Syzygium jambolana* e *Ligustrum lucidum*, apresentaram potencial para ser utilizadas para esse fim, e as demais (*Persea americana*, *Spathodea campanulata*, *Ficus sp.*, *Chorisia speciosa* e *Ochroma pyramidale*), na produção de briquetes. Além disso o autor cita a possibilidade de uso em compostos orgânicos e pequenos objetos de madeira.

Em uma pesquisa realizada em Maringá, PR, Angelis et al. (2007), avaliaram a viabilidade da produção de briquetes a partir dos resíduos madeireiros da arborização urbana, sem especificação de espécies. Os resultados foram positivos quando comparados à lenha (solução já utilizada na cidade), com o dobro de poder calorífico e alta densidade. Meira (2010) também caracterizou em Piracicaba (SP) a madeira das dez espécies mais utilizadas no município (*Caesalpinia peltophoroides*, *Schinus molle*, *Lagerstroemia indica*, *Tibouchina granulosa*, *Terminalia catappa*, *Licania tomentosa*, *Nectandra megapotamica*, *Tabebuia sp.*, *Ficus benjamina*, *Nerium oleander* e *Murraya paniculata*) e concluiu que a todas as espécies estudadas poderiam ser utilizadas em compostagem e pequenos objetos de madeira e, algumas delas (*Caesalpinia peltophoroides*, *Schinus molle*, *Terminalia catappa*, *Tabebuia sp.* e *Ficus benjamina*) também para carvão vegetal ou lenha.

A viabilidade do uso do resíduo gerado na poda e supressão de árvores da arborização urbana depende do conhecimento tecnológico da madeira, e se baseia em suas características físicas, químicas e mecânicas (MEIRA, 2010). Quando há maiores valores de massa específica, há também de dureza, pois essas variáveis estão associadas (maior quantidade de madeira por unidade de volume), sendo vantajoso na produção de energia. Segundo Meira (2010), para peças maiores, como a confecção de pequenas estruturas de madeira, o conhecimento da massa específica pode levar à indicação para o uso na produção desses produtos e os valores de retratibilidade ainda podem indicar o uso para móveis e pequenos objetos de madeira. Porém, a literatura mostra que há pouco conhecimento sobre as características intrínsecas da madeira das espécies utilizadas na arborização urbana no Estado de São Paulo, o que contribui para seu limitado aproveitamento.

OBJETIVO

Caracterizar, sob o aspecto físico, os resíduos madeireiros da arborização urbana provenientes de sete das espécies mais utilizadas no Estado de São Paulo, visando avaliar seu potencial de aproveitamento em produtos sólidos de madeira.

MÉTODOS

Para esse estudo foram coletadas amostras de galhos ou fustes de 3 árvores das espécies canelinha (*Nectandra megapotamica*), chapéu-de-sol (*Terminalia catappa*), fícus (*Ficus*

benjamina), flamboyant (*Delonix regia*), oiti (*Licania tomentosa*), sibipiruna (*Cenostigma pluviosum*) e tipuana (*Tipuana tipu*), sendo cada amostra com no mínimo 70 cm de comprimento e diâmetro mínimo de 15 cm para possibilitar a confecção dos corpos-de-prova. As espécies foram selecionadas em função de serem as mais utilizadas no município de Piracicaba, SP, e região, como apontaram os resultados dos inventários de arborização urbana realizados por Silva Filho (2005) e Silva Filho (2009). As amostras foram coletadas durante os serviços de poda e supressão realizados por uma empresa terceirizada, contratada pela Prefeitura Municipal.

As propriedades físicas da madeira analisadas nesse estudo foram a umidade, densidade básica e aparente e retratibilidade. Os ensaios de umidade e retratibilidade axial, radial, tangencial e volumétrica foram realizados segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), com corpos-de-prova de dimensões 2 x 2 x 6 cm.

Para determinar o teor de umidade dos lotes homogêneos amostrados seguiu o procedimento de determinação da massa inicial do corpo de prova, colocou-se o corpo de prova em estufa com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e, quando a massa se apresentou constante, foi determinada a massa seca. Assim, foi possível calcular a umidade à base seca, a partir da expressão:

$$U = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

U = teor de umidade (%)

m_i = massa inicial (g)

m_s = massa seca (g)

O ensaio de retratibilidade também foi realizado a partir da NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo que as análises iniciaram com os corpos-de-prova com umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF). Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) as deformações específicas de retração são consideradas como índices de estabilidade dimensional, sendo determinadas para cada uma das direções preferenciais (1 – axial; 2 – radial; e 3 – tangencial), em função das dimensões da madeira saturada e seca, determinadas a partir das expressões:

$$\varepsilon_{r,1} = \left(\frac{L_{1,\text{sat}} - L_{1,\text{seco}}}{L_{1,\text{sat}}} \right) \times 100$$

$$\varepsilon_{r,2} = \left(\frac{L_{2,\text{sat}} - L_{2,\text{seco}}}{L_{2,\text{sat}}} \right) \times 100$$

$$\varepsilon_{r,3} = \left(\frac{L_{3,\text{sat}} - L_{3,\text{seco}}}{L_{3,\text{sat}}} \right) \times 100$$

Onde:

ε_r = deformação específica de retração (%)

L_{sat} = dimensão do corpo-de-prova saturado (mm)

L_{seco} = dimensão do corpo-de-prova seco (mm)

A variação volumétrica de retração foi determinada em função das dimensões a partir da expressão abaixo:

$$\Delta V = \left(\frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{seco}} \right) \times 100$$

Onde:

ΔV = Variação volumétrica de retração (%)

V_{sat} = volume do corpo-de-prova saturado (mm)

V_{seco} = volume do corpo-de-prova seco (mm)

A densidade básica da madeira é a relação da massa seca em estufa e o respectivo volume da madeira, acima do ponto PSF (MARTINS, 2013). A determinação da densidade básica e aparente foi realizada conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), segundo as expressões:

$$D_b(\text{densidade básica}) = \frac{\text{massa a } 0\% (g)}{\text{volume a } 100\% (cm^3)} = g/cm^3$$

$$D_a(\text{densidade aparente}) = \frac{\text{massa } (g)}{\text{volume } (cm^3)} = g/cm^3$$

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com sete tratamentos (espécies) e quarenta e oito repetições. A justificativa em se trabalhar com o referido número de repetições é o de que as propriedades físicas da madeira apresentam elevada variabilidade em função da composição heterogênea do material.

Antes da aplicação da análise de variância (ANOVA), foram verificadas as normalidades das variáveis dependentes, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene, ao nível de 95% de probabilidade. Atendido estes pressupostos, as variáveis dependentes foram submetidas à ANOVA e analisadas pelo teste F e, quando significativas, o teste de Tukey foi aplicado para verificação das diferenças significativas entre as médias dos tratamentos. As análises foram conduzidas com o auxílio do software Minitab 16.0®.

RESULTADOS

Os resultados da determinação da umidade, densidade básica e aparente e retratibilidade são apresentados na Tabela 1.

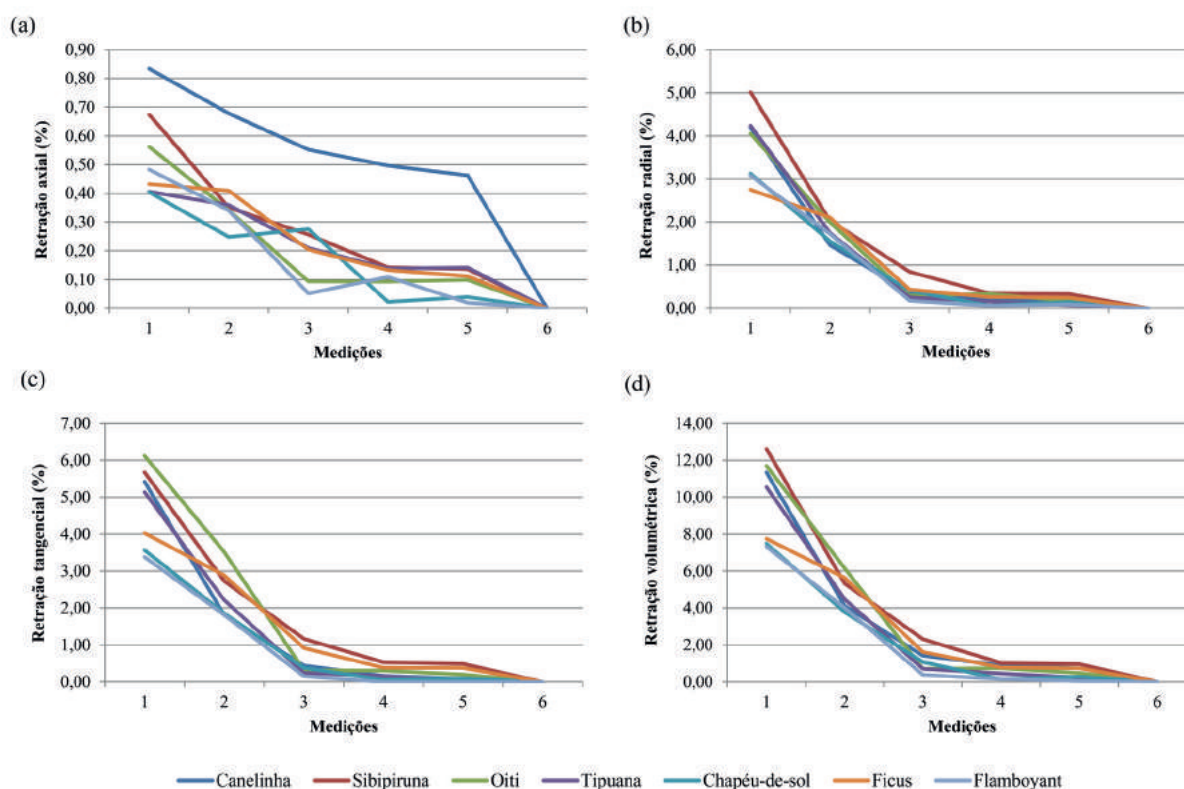
Tabela 1. Densidade aparente (DA) e básica (DB), teor de umidade (U) e retratibilidade axial (RA), radial (RR), tangencial (RT) e volumétrica (RV) de sete espécies comuns da arborização urbana de Piracicaba

Espécie	DA (g/cm ³)	DB (g/cm ³)	U (%)	RA (%)	RR (%)	RT (%)	RV (%)
Canelinha	0,633 c	0,545 b	16,09 c	0,83 a	4,19 ab	5,42 ab	10,14 ab
Sibipiruna	0,777 a	0,654 a	18,87 b	0,67 ab	5,01 a	5,67 ab	11,01 a
Oiti	0,705 b	0,649 a	8,67 d	0,56 ab	4,05 abc	6,12 a	10,45 ab
Tipuana	0,625 c	0,522 b	26,07 c	0,41 b	4,24 ab	5,14 b	9,53 b
Chapéu-de-sol	0,497 d	0,460 c	7,74 d	0,40 b	3,13 bc	3,57 c	6,96 c
Ficus-benjaminia	0,499 d	0,397 d	26,37 a	0,43 ab	2,87 c	4,03 c	7,19 c
Flamboyant	0,482 d	0,447 c	7,87 d	0,48 ab	3,08 bc	3,38 c	6,81 c

Onde: letras minúsculas representam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95%.

A partir dos resultados do ensaio de estabilidade dimensional, foi possível construir gráficos para cada direção preferencial da madeira, sendo elas a axial, radial e tangencial, além da contração volumétrica, indicando a variação dimensional ao longo do tempo (Figura 1).

Figura 1. Contração (a) axial; (b) radial; (c) tangencial; e (d) volumétrica de sete espécies mais comuns da arborização urbana de Piracicaba



DISCUSSÃO

A madeira das espécies *Tipuana tipu*, *Nectandra megapotamica*, *Licania tomentosa* e *Cenostigma pluviosum* podem ser consideradas de média densidade básica, variando de 0,522 a 0,654 g/cm³ (em ordem crescente). Já as espécies, *Delonix regia*, *Terminalia catappa* e *Ficus benjamina* podem ser consideradas de baixa densidade básica, variando de 0,482 a 0,499 g/cm³. Dentre essas espécies, nenhuma apresentou densidade básica considerada alta, acima de 0,7 g/cm³.

A umidade influenciou nos resultados de densidade aparente, sendo que quanto maior a umidade, maior a diferença entre a densidade aparente e a básica. O teor de umidade é inversamente proporcional à densidade da madeira, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira.

Observou-se um padrão em comum em relação à densidade básica e aparente. As espécies que apresentaram maiores valores de densidade tiveram, também, uma maior retratibilidade volumétrica (total). Já as espécies de média densidade básica apresentaram os maiores valores para retratibilidade volumétrica e as espécies com densidade básica considerada baixa apresentaram menores valores de contração volumétrica. É possível observar com mais detalhes na tabela 2.

Os maiores valores de densidade básica e aparente foram relativos à espécie *Cenostigma pluviosum* (sibipiruna), apresentado na tabela 1. Foi constatada correlação positiva significativa entre a densidade básica e aparente para as espécies com exceção da *Tipuana tipu* (tipuana). Observou-se valores inferiores de umidade e de retratibilidade (axial, radial e tangencial) para a espécie *Ficus benjamina* (ficus). Houveram diferenças estatísticas das características de cada espécie, demonstradas pelas letras que indicam as médias que foram estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quando comparados com outras espécies comumente utilizadas para a produção de POMs, os resultados de densidade e retratibilidade são compatíveis. Tanto espécies do gênero *Pinus* como do gênero *Eucalyptus* são amplamente utilizadas nessa área. No estudo de Batista et al. (2010), que teve como objetivo determinar a densidade básica e contração da madeira de quinze clones de *Eucalyptus* (5 clones de cada espécie: *E. saligna*, *E. grandis* e *E. dunnii*), observou-se para um clone de *E. saligna* a densidade básica de 0,56 g/cm³ e elevada instabilidade dimensional; o *E. grandis* apresentou valores de densidade básica entre 0,40 e 0,49 g/cm³; entre os clones de *E. dunnii*, a maior densidade básica foi de 0,65 g/cm³ e apresentou-se o clone mais instável dimensionalmente; concluindo que o *E. grandis* foi a espécie de menor densidade e maior estabilidade dimensional, e o *E. dunnii* foi a espécie de maior densidade e maior instabilidade dimensional. Essa relação também foi encontrada no presente estudo, com valores de densidade e instabilidade semelhantes. Em estudo de Rezende (2003), foi encontrado que a retratibilidade volumétrica do *Pinus caribaea* var.

hondurensis e *Eucalyptus grandis* foi de 10,79% e 12,78%, respectivamente, se assemelhando às espécies sibipiruna, oiti e canelinha do presente estudo.

Além de apresentarem características adequadas e semelhantes a outras espécies usadas para a confecção de pequenos objetos de madeira e móveis, a valorização dos resíduos da arborização urbana pode ser uma alternativa viável para a agregação de valor, destinação de parte do material e é um incentivo para a abertura de novos negócios baseados no seu aproveitamento.

CONCLUSÃO

As espécies estudadas possuem potencial, pelas características físicas aqui analisadas, para a fabricação de móveis e pequenos objetos de madeira, sendo uma solução adequada para as prefeituras brasileiras de destinação dos resíduos gerados nas práticas de poda e remoção das árvores no ambiente urbano, como alternativa para seu descarte, que atualmente é proibido.

As espécies *Tipuana tipu*, *Nectandra megapotamica*, *Licania tomentosa* e *Cenostigma pluviosum* podem ser consideradas de média densidade básica, indicando o uso para objetos utilitários de uso doméstico, produtos para jardinagem e paisagismo, equipamentos urbanos, artigos decorativos e pequenos móveis. Já as espécies *Delonix regia*, *Terminalia catappa* e *Ficus benjamina* podem ser consideradas de baixa densidade básica, com indicação de uso para objetos decorativos, brinquedos e esculturas. Para objetos como utensílios de cozinha e brinquedos, recomenda-se a realização de estudos que contenham a quantificação de extrativos e análises sensoriais das espécies para melhores indicações de uso.

As espécies *Nectandra megapotamica* e *Ficus benjamina* apresentaram rachaduras no processo de secagem, prejudicando sua viabilidade para a produção de produtos madeiros de maior valor agregado. Apesar disso, diante dos resultados obtidos, todas as espécies apresentaram valores de densidade adequados para segmentos de movelaria ou para a produção de pequenos objetos de madeira, devendo se atentar ao fato da probabilidade de rachaduras no processo de secagem para as espécies citadas. Alguns dos defeitos apresentados ainda podem se tornar parte do design dos produtos, gerando peças únicas.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo de Iniciação Científica foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

■ REFERÊNCIAS

1. ANGELIS, B.L.D.; SAMPAIO, A.C.F.; TUDINI, O.P.; ASSUNÇÃO, M.G.T.; ANGELIS NETO, G. **Avaliação das árvores de vias públicas da zona central de Maringá.** Estado do Paraná: estimativa de produção de resíduos e destinação Final. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 29, n. 1, p. 133-140, set. 2007.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190** - Projeto de estruturas de madeiras. Rio de Janeiro, 1997.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** – Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
4. BATISTA, D.C.; KLITZKE, R.J.; SANTOS, C.V.T. **Densidade Básica e Retratabilidade da Madeira de Clones de Três Espécies de *Eucalyptus*.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, out.-dez., 2010.
5. BRASIL, **Lei nº12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos**, de 2 de Agosto de 2010.
6. LOPES, C. S. D. **Desenho de Pequenos Objetos de Madeira com Resíduo da Indústria de Processamento Mecânico da Madeira.** InterfacEHS, v.4, n.3, 2009.
7. MARTINS, C.H. **O aproveitamento de madeiras das podas da arborização viária de Maringá/PR.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 2, p. 257 - 267, abr – jun , 2013.
8. MEIRA, A.M. **Gestão de Resíduos da Arborização Urbana.** Tese de Doutorado em Recursos Florestais. ESALQ – USP. Piracicaba, 2010.
9. NOLASCO, A.M. **Resíduos da Colheita e Beneficiamento da Caixeta – *Tabebuia cassinoi-des* (Lam.): caracterização e perspectivas.** São Carlos, 2000. 171p. Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.
10. PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual Técnico da Poda de Árvores.** GTI criado pela Portaria Intersecretarial nº 02/2011 de SVMA/SMSP Publicado conforme Portaria Intersecretarial nº __/2016 de SVMA/SMSP. São Paulo, 2016.
11. REZENDE, M.A. **Retratabilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade.** Scientia Florestalis, n. 64, p. 120-127, dez. 2003.
12. SECRETARIA DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE DE PIRACICABA – SP (SEDEMA). **Gestão de Resíduos Sólidos do Município.** Piracicaba, 2007.
13. SILVA, L.F. **Situação da Arborização Viária e Proposta de Espécies para os Bairros Antônio Zanaga I e II, da cidade de Americana – SP.** Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP. Piracicaba, 2005.
14. SILVA FILHO, D.F. **Diagnóstico da Cobertura Arbórea em Tecido Urbano do Município de Piracicaba – SP.** Relatório apresentado à Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – FEALQ/Instituto de Planejamento de Piracicaba – IPPLAP. 2009. 22p.
15. SILVA FILHO, D.F.; PIVETTA, K.F.L. **Arborização Urbana.** Boletim Acadêmico. UNESP/FCAV/ FUNEP. Jaboticabal, SP – 2002.

16. SOUZA, K.S. **Viabilidade do Aproveitamento de Resíduos de Madeira para Produção de Móveis**. 47 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva. Itapeva, 2008.
17. STERNADT, G. H. **Pequenos Objetos de Madeira – POM**: compostagem de serragem de madeira. Brasília: LPF, 2002. 29p.
18. 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, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420. Jun.2005.

“

Resistência de embutimento em amostras padronizadas de madeira segundo as normas brasileira, europeia e americana

▮ Julio Cesar **Molina**
UNESP/Itapeva

▮ Amauri da silva **Ribas Junior**
UNESP/Itapeva

RESUMO

Este trabalho teve como finalidade avaliar a resistência ao embutimento de pinos de aço em corpos de prova padronizados de madeira. Inicialmente foi realizada uma avaliação da normalização nacional e estrangeira existente sobre o assunto. Foram também realizados ensaios em corpos de prova de madeira de reflorestamento do tipo *Pinus elliottii* com pinos metálicos com 10 mm de diâmetro, à luz dos referidos documentos normativos analisados. Os ensaios seguiram as recomendações das normas ABNT NBR 7190 (1997), Eurocode 5 (2004) e ASTM D5764 (2007) para posterior comparação entre os resultados obtidos para a resistência de embutimento. Foram confrontados, neste caso, os resultados analíticos e experimentais obtidos para as resistências de embutimento segundo as normas analisadas. As resistências de embutimento obtidas para a norma ASTM D5764 (2007) revelaram maior proximidade entre os valores experimentais e analíticos, para ambas as direções da madeira, seguidas da norma ABNT NBR 7190 (1997) e Eurocode 5 (2004). Entretanto, a norma europeia apresentou os maiores valores de resistência ao embutimento, quando comparada com as normas brasileira e americana.

Palavras-chave: Embutimento, Resistência, Normalização.

INTRODUÇÃO

A garantia da qualidade do sistema de ligação das estruturas de madeira é importante para a eficiência do sistema estrutural. Dentre os tipos e ligações utilizados em estruturas de madeira podem ser citados os pinos metálicos, os conectores metálicos, as ligações coladas e as cavilhas. Os pinos metálicos são constituídos pelos pregos, parafusos e barras de aço, e os conectores metálicos podem ser anéis metálicos ou chapas com dentes estampados. Segundo Almeida (1987) as ligações constituem-se no ponto crítico das estruturas de madeira.

No dimensionamento de ligações por pinos metálicos entre elementos estruturais são considerados basicamente dois modos de ruptura: o embutimento do pino na madeira e a flexão do pino. No entanto, a norma brasileira ABNT NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) e as principais normas internacionais como a europeia Eurocode 5 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004) e a americana ASTM D5764 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007) apresentam métodos diferentes para a determinação da resistência ao embutimento. Pela norma brasileira a resistência ao embutimento da ligação é convencionada à deformação específica 2‰. De acordo com a norma europeia, a resistência ao embutimento é determinada pela força que provoca o deslocamento de 5 mm ou a resistência última de embutimento e, pela norma americana, é determinada pela força que provoca o deslocamento entre o pino e a madeira igual a 5% do diâmetro do pino metálico.

Observa-se assim que norma brasileira utiliza a deformação específica como parâmetro para a determinação da resistência ao embutimento, diferentemente do que recomendam os documentos normativos europeu e americano, que utilizam o deslocamento relativo entre o pino metálico e a madeira (MOLINA et. al, 2020). No entanto, apesar do crescente interesse no estudo das ligações em estruturas de madeira no Brasil, observa-se que as investigações realizadas até o momento ainda não produziram conclusões suficientes para uma adequada análise do seu comportamento.

OBJETIVO

Avaliar de forma analítica e experimental os métodos brasileiro, europeu e americano para determinação da resistência ao embutimento para comparação entre os resultados

MÉTODOS

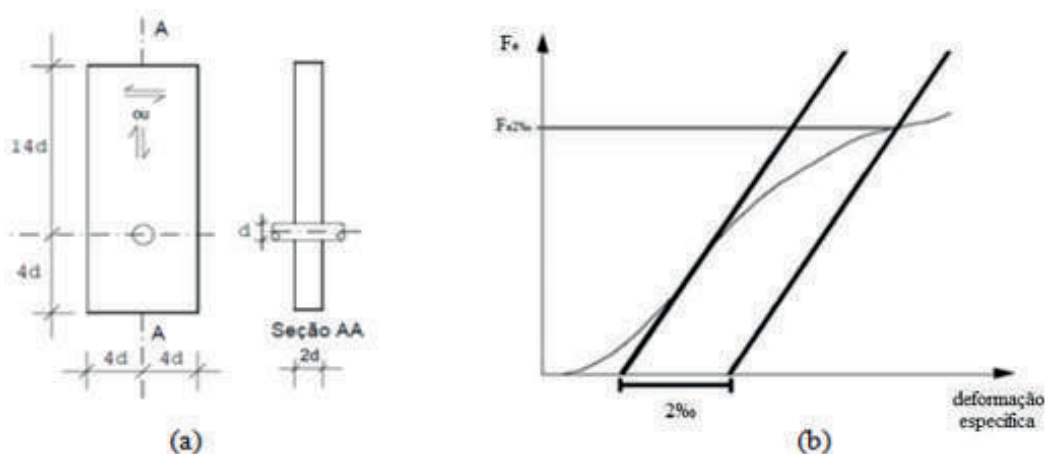
ABNT NBR 7190 (1997) – Projeto de Estruturas de Madeira

Experimentalmente, a norma brasileira define a resistência da madeira ao embutimento (f_e) como a razão entre a força aplicada capaz de provocar uma deformação residual de 2‰ ($F_{e2‰}$) na ligação e a área de embutimento do pino metálico na madeira (produto do diâmetro do pino (d) pela a espessura (t) da peça de madeira) de acordo com a Equação (1).

$$f_e = \frac{F_{e2‰}}{t \times d} \quad (1)$$

Para a realização do ensaio de embutimento deve ser determinada uma resistência estimada a partir do ensaio destrutivo de um corpo de prova gêmeo, Figura (1a). Uma vez conhecida a resistência, o carregamento deve ser aplicado inicialmente em dois ciclos de carga e descarga (com velocidade igual a 10MPa/min.) entre 10% e 50% do valor estimado para a resistência (ou força) de ruptura, e, posteriormente, o terceiro e último ciclo de carga é aplicado até a ruptura final, ou seja, àquela correspondente a força capaz de provocar uma deformação residual de 2‰ na ligação, conforme ilustra a Figura (1b).

Figura 1. Ensaio de embutimento segundo norma brasileira: (a) Corpo de prova para as direções 0° e 90°; (b) Diagrama força de embutimento x deformação específica para o último ciclo de carga.



Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

EN 383 (2007) – Determination of Embedding Strength and Foundation Values for Dowel Type Fasteners

O EN 383 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007) é o documento normativo proposto pela norma europeia Eurocode 5 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004) para a determinação da resistência ao embutimento. Experimentalmente, a resistência ao embutimento obtida segundo a norma europeia é dada

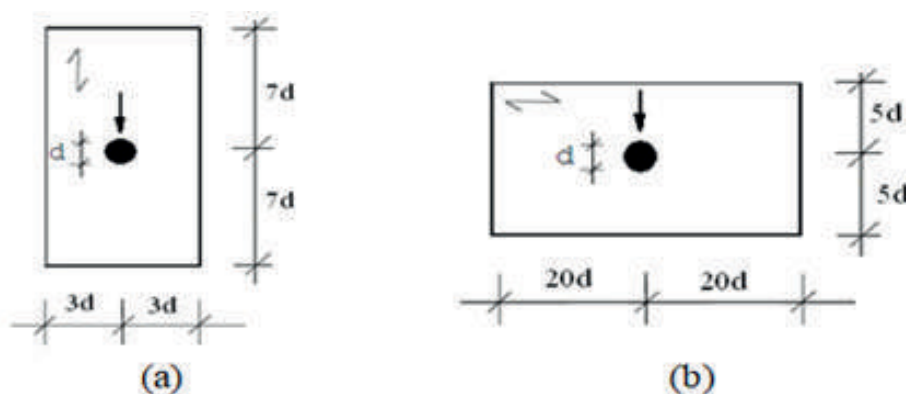
conforme Equação (2), ou seja, o maior valor obtido da relação entre a força máxima resistida pelo corpo-de-prova ($F_{\max}$) ou a força que provoca o deslocamento relativo de 5 mm entre o pino metálico e a madeira.

$$f_e = \frac{F_{5\text{mm}}}{t \times d} \text{ ou } f_e = \frac{F_{\max}}{t \times d} \quad (2)$$

Onde: $F_{5\text{mm}}$ é a força que provoca o deslocamento de 5mm na interface madeira/pino em N.

Os corpos de prova propostos pela norma europeia apresentam seção retangular $6d \times 14d$ no caso da solicitação do corpo de prova na direção paralela as fibras da madeira, e dimensões $40d \times 10d$ no caso de solicitação normal às fibras, sendo ambos os corpos de prova com espessura de $2,0d$ (onde d é o diâmetro do parafuso), conforme ilustra a Figura (2).

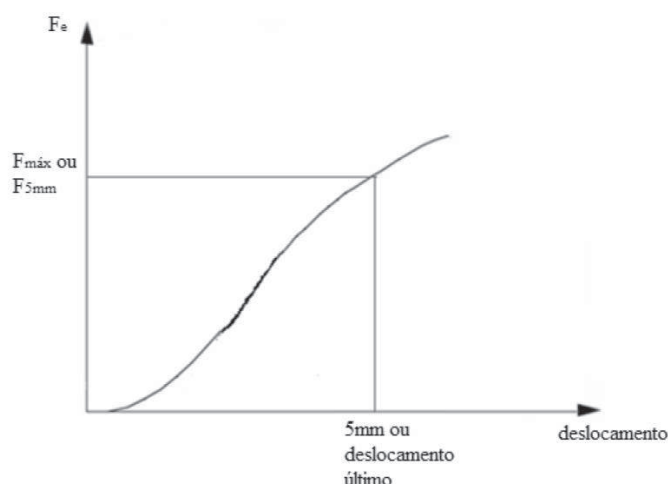
Figura 2. Corpo de prova para o ensaio de embutimento segundo norma europeia: (a) direção paralela as fibras; (b) direção normal as fibras.



Fonte: Modificado de Almeida (2014)

Para a realização dos ensaios também deve ser estimada a resistência por meio de ensaio destrutivo de um corpo de prova gêmeo. Estimada a resistência da madeira ao embutimento (f_e) deve ser aplicado um único ciclo de carregamento, até 40% desse valor, mantendo-o por 30 segundos seguido até o valor de 10%, mantendo-o por 30 segundos. Em seguida deve ser aplicado um carregamento até ocorrer a ruptura do corpo de prova ou o deslocamento relativo de 5 mm entre o pino metálico e a madeira. A Figura (3) ilustra a obtenção da madeira ao embutimento a partir do segundo ciclo de carregamento até a ruptura do corpo de prova.

Figura 3. Diagrama Força de embutimento x deslocamento relativo para o segundo ciclo de carregamento.



Fonte: Modificado de Almeida (2014).

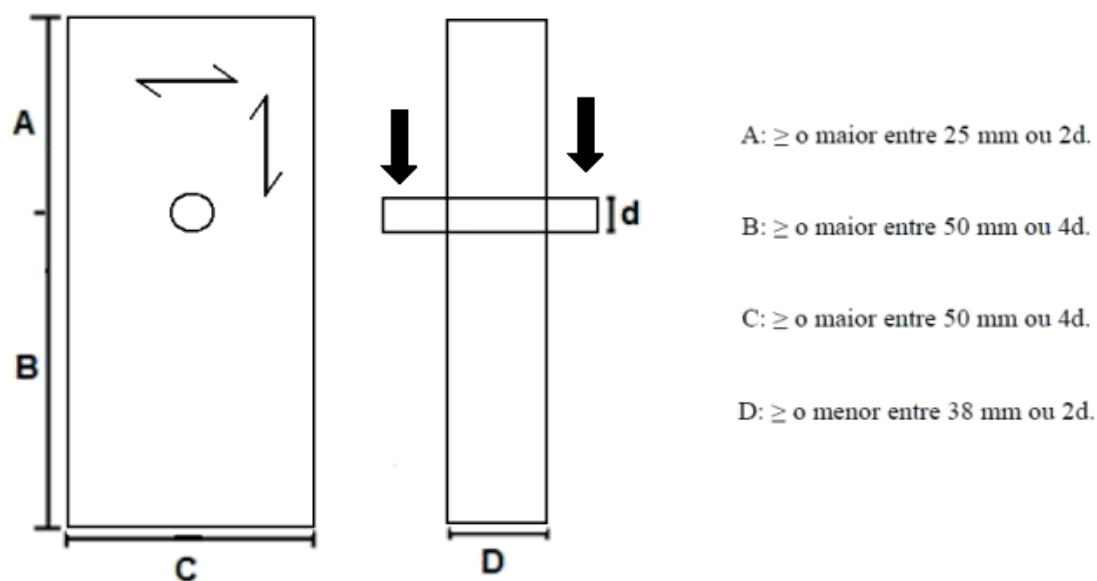
ASTM D5764 (2007) – Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products

A norma americana ASTM D5764 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007) recomenda o documento NDS (AMERICAN NATIONAL STANDARD FOR WOOD PRODUCTS/ AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION, 2001) para o cálculo da resistência analítica de embutimento. Assim, a resistência da madeira ao embutimento é dada em função da relação de 5% do diâmetro do pino com a área do corpo de prova relativa ao embutimento, conforme Equação (3).

$$f_e = \frac{F_{e5}}{t \times d} \quad (3)$$

O procedimento experimental recomendado pela norma americana não prevê a estimativa de uma força de ruptura do corpo de prova e nem a realização de ciclos de carregamento. A configuração de corpo de prova para a determinação da resistência ao embutimento, tanto para a direção paralela quanto para a direção normal às fibras da madeira, segundo a norma americana é apresentada na Figura (4).

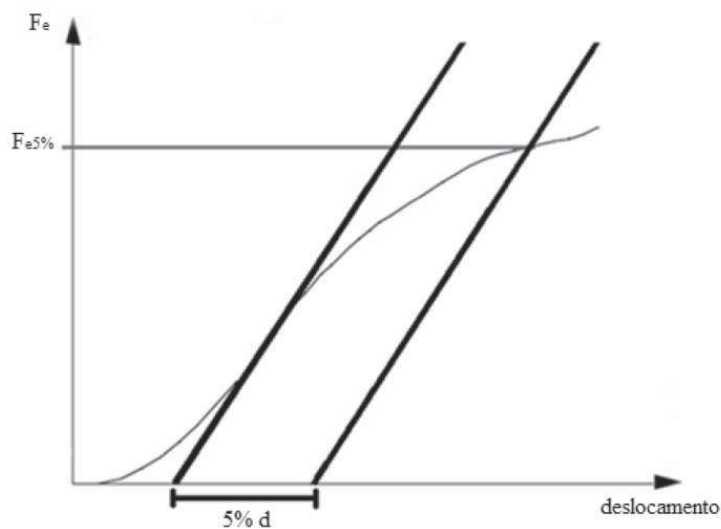
Figura 4. Corpo de prova para o ensaio de resistência ao embutimento segundo a norma americana.



Fonte: ASTM D5764 (2007).

O gráfico da Figura (5) apresenta a forma de obtenção da resistência ao embutimento a partir do diagrama força de embutimento x deformação utilizando o critério da norma americana.

Figura 5. Diagrama Tensão de embutimento x deslocamento relativo.



Fonte: ASTM D5764 (2007).

Resistência de embutimento analítica

Cada um dos documentos normativos considerados nessa pesquisa possui as equações específicas para a determinação da resistência ao embutimento, sendo que estas estão relacionadas na Tabela (1).

Tabela 1. Equações analíticas para o cálculo da resistência de embutimento segundo as normas analisadas.

Norma	fe0	fe90
ABNT NBR 7190 (1997)	$f_{e0} = f_{c0}$	$f_{e90} = 0,25 \cdot f_{c0} \cdot \alpha_e$
EUROCODE 5 (2004)	$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$	$f_{h\alpha,k} = \frac{f_{h0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$
NDS (2001)	$f_{e0} = 0,07725 \cdot \rho$	$f_{e90} = 212 \cdot (0,001\rho)^{1,45} \cdot d^{-0,5}$

f_{c0} : valor médio da resistência a compressão paralela as fibras da madeira;
 f_{c90} : valor médio da resistência a compressão normal as fibras da madeira;
 α_e : coeficiente dado em função do diâmetro do pino na ABNT NBR 7190 (1997);
 k_{90} : 1,35+0,015d, para madeira macia;
 k_{90} : 0,90+0,015d, para madeira dura;
 ρ : valor médio da densidade aparente;
 d : diâmetro do pino metálico.

Materiais e métodos

Na confecção dos corpos de prova utilizou-se a espécie de madeira de reflorestamento *Pinus elliottii*, sem tratamento preservativo e barras de aço comum, lisas (sem mossas), do tipo 1020, com diâmetro aproximado de 10 mm e comprimento de 12 cm. Todos os corpos de prova foram ensaiados com teor de umidade da madeira variando entre 10% e 20%. Posteriormente, os valores de resistência de embutimento ($f_{u\%}$), obtidos nestas faixas de umidade, foram corrigidos para a umidade (f_{12}) de 12%, a partir de Equação (4) proposta na norma brasileira de madeiras.

$$f_{12} = f_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (4)$$

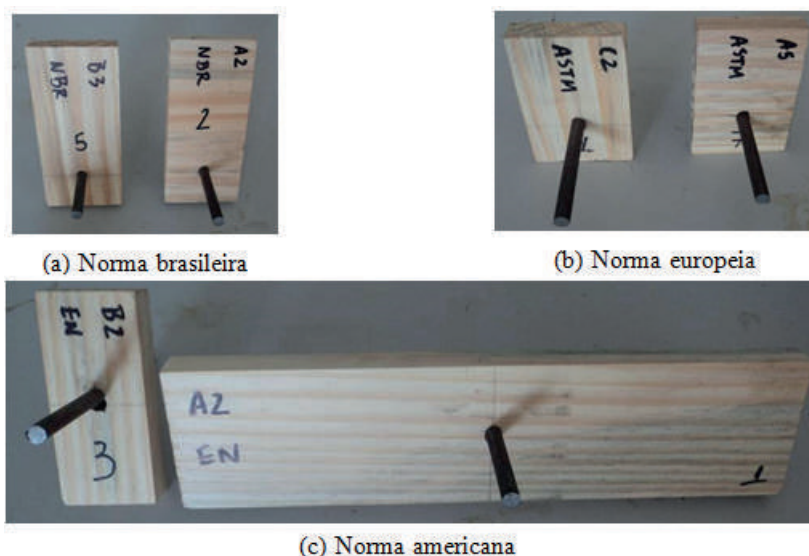
Foram consideradas seis replicações de corpos de prova para cada direção das fibras e norma específica. Assim, para cada uma das normas analisadas foram admitidos 06 corpos de prova na direção das fibras e 06 corpos de prova na direção normal às fibras da madeira, totalizando 36 ensaios de embutimento. Para a caracterização da umidade e densidade também foram usadas replicações de 06 corpos de prova. Para a condução dos ensaios de embutimento foi utilizada a Máquina Universal de Ensaios EMIC (DL30000) com capacidade de 300 kN (30.000 kgf).

Descrição dos testes

Nas situações normativas em que foi necessária a realização de mais de um ciclo de carregamento foi confeccionado um corpo de prova adicional (gêmeo) para estimar preliminarmente a resistência ao embutimento, como no caso das normas brasileira e americana. A Figura (6) mostra os detalhes dos corpos de prova utilizados e a Figura (7) a

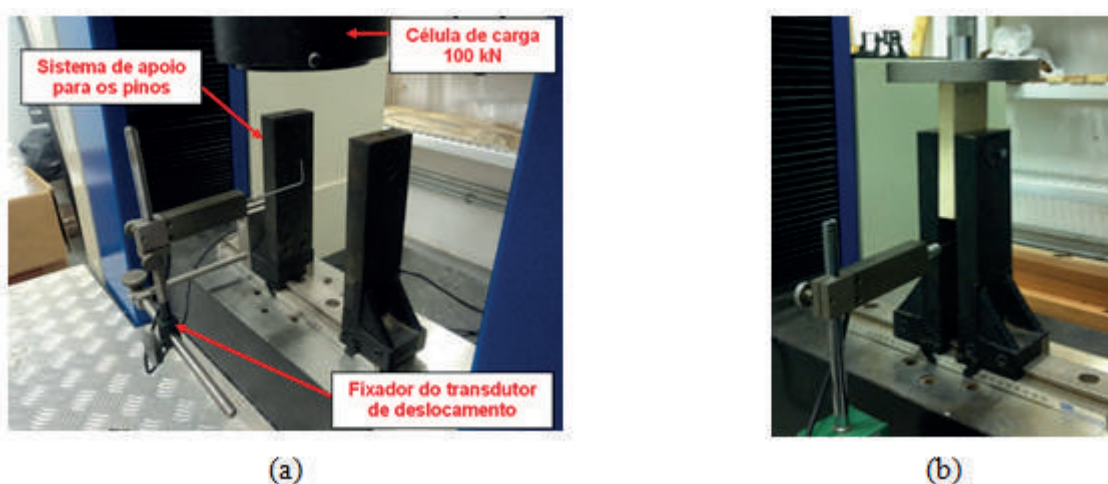
instrumentação utilizada para obtenção dos deslocamentos nos corpos de prova assim como os detalhes dos ensaios de embutimento na Máquina Universal de Ensaio EMIC.

Figura 6. Corpos de prova para os ensaios de embutimento paralelo e normal as fibras segundo as normas avaliadas nesta pesquisa.



Nos ensaios de embutimento a aplicação do carregamento foi controlada por uma célula de carga com capacidade de 100 kN. O sistema de solicitação dos corpos de prova foi feito por meio da própria máquina universal de ensaios EMIC. A quantificação dos deslocamentos e deformações foi feita por um transdutor de deslocamentos externo, do tipo LVDT, com percurso máximo de 10 mm, conforme ABNT NBR 7190 (1997) e Stamato (2002).

Figura 7. Ensaio de embutimento na EMIC: (a) instrumentação do corpo de prova; (b) Detalhe do ensaio sendo realizado.



Para o cálculo analítico das resistências de embutimento conforme equações da Tabela 1 foi necessária a caracterização das madeiras como também do pino de aço utilizado. As propriedades mecânicas da madeira utilizada foram a resistência a compressão paralela as fibras (f_{co}), o módulo de elasticidade na compressão paralela as fibras (E_{co}) e resistência ao cisalhamento paralelo as fibras (f_{vo}). As propriedades físicas determinadas, neste caso, para

a madeira, foram a densidade aparente (ρ_{ap}) e a umidade (U%). O parâmetro α_e utilizado para o cálculo da resistência ao embutimento na direção normal em relação às fibras, conforme a norma brasileira é determinado em função do diâmetro do pino metálico. Para valores de diâmetros intermediários aos valores tabelados, α_e é determinado por interpolação linear. Neste caso, o valor do coeficiente obtido foi $\alpha_e = 1,905$. Para o cálculo da resistência ao embutimento na direção paralela às fibras de acordo com a norma brasileira foram utilizados os valores médios de resistência à compressão paralela as fibras, determinados a partir da caracterização dos materiais. As equações utilizadas para o cálculo analítico da resistência ao embutimento nas direções paralela e normal às fibras de acordo com a norma europeia utilizam a densidade aparente característica da madeira (ρ_k). Porém, neste trabalho foram utilizados os valores médios de densidade aparente (ρ_{ap}) determinados nos ensaios de caracterização da madeira, tendo em vista a comparação dos resultados de ensaio. Para o cálculo do parâmetro k_{90} , utilizado pela norma europeia e que leva em consideração o diâmetro do pino metálico foi considerado como madeira menos densa o *Pinus elliottii*. Para o cálculo dos valores analíticos de resistência ao embutimento segundo a norma americana também foram usados os valores médios de densidade aparente (ρ_{ap}) da madeira utilizada.

RESULTADOS

Esta seção apresenta inicialmente os resultados da caracterização das peças de madeira seguidos dos valores de resistência ao embutimento determinados a partir dos ensaios experimentais, como também as resistências de embutimento obtidas a partir das equações analíticas propostas pelas normas estudadas. Por fim, são comparados os valores das resistências de embutimento determinadas analiticamente e experimentalmente.

Caracterização da madeira

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização das resistências e densidades obtidas nas direções paralela e normal às fibras da madeira.

Tabela 2. Caracterização da madeira dos corpos de prova para a umidade de $12 \pm 1\%$.

Corpos de prova		f_c (MPa)	ρ_{ap} (kg/m ³)
ABNT NBR 7190 (1997)	Paralela	35,80	543,25
	Normal	7,17	483,60
Eurocode 5 (2004)	Paralela	35,80	464,86
	Normal	7,17	511,44
ASTM D5764 (2007)	Paralela	35,80	505,89
	Normal	7,17	512,27

f_c : valor médio da resistência a compressão da madeira na direção indicada;
 ρ : valor médio da densidade aparente.

Resistências de embutimento (f_e)

Na Tabela 2 foram comparados os resultados obtidos para as resistências de embutimento analíticas com as resistências experimentais para cada uma das normas analisadas. Na Tabela 3 estão apresentados os valores das resistências específicas de embutimento, $f_{e,\rho}$ (resistência/densidade aparente da madeira).

Tabela 3. Valores analíticos e experimentais das resistência de embutimento ($U=12 \pm 1\%$).

Norma	Direção	Analítico (MPa)	Experimental (MPa)	Diferenças (%)
ABNT NBR 7190 (1997)	f_{e0}	35,8	24,1	32,68
	f_{e90}	17,0	14,6	14,12
EN 383 (2007)	f_{e0}	34,3	53,3	55,39
	f_{e90}	25,2	42,6	69,05
ASTM D5764 (2007)	f_{e0}	39,1	42,5	8,70
	f_{e90}	25,4	25,9	1,97

Tabela 4. Valores analíticos e experimentais das resistências específicas de embutimento ($U=12 \pm 1\%$).

Norma	Direção	Analítico (MPa.m ³ /kg)	Experimental (MPa.m ³ /kg)	Diferenças (%)
ABNT NBR 7190 (1997)	$f_{e0,\rho}$	$6,59 \times 10^{-2}$	$4,44 \times 10^{-2}$	32,62
	$f_{e90,\rho}$	$3,52 \times 10^{-2}$	$3,02 \times 10^{-2}$	14,20
EN 383 (2007)	$f_{e0,\rho}$	$7,38 \times 10^{-2}$	$11,46 \times 10^{-2}$	35,06
	$f_{e90,\rho}$	$4,93 \times 10^{-2}$	$8,33 \times 10^{-2}$	40,82
ASTM D5764 (2007)	$f_{e0,\rho}$	$7,73 \times 10^{-2}$	$8,40 \times 10^{-2}$	7,98
	$f_{e90,\rho}$	$4,96 \times 10^{-2}$	$5,06 \times 10^{-2}$	1,97

DISCUSSÃO

Com base nos resultados, observou-se uma maior proximidade entre os resultados analíticos e experimentais das resistências de embutimento obtidas com base na norma americana

No entanto, os maiores valores obtidos para as resistências de embutimento, em ambas as direções, paralela e normal às fibras, foram observados para a norma europeia.

Observou-se também que, para as normas americana e europeia os valores analíticos de resistência ao embutimento se apresentaram menores que os valores experimentais, para ambas as direções. Esse comportamento foi mais pronunciado para a norma europeia, em favor da segurança.

Para a norma brasileira, os valores experimentais obtidos para a resistência de embutimento foram maiores que os valores analíticos, tanto para a direção paralela como também para a normal às fibras.

A utilização da densidade aparente da madeira para a obtenção da resistência específica de embutimento contribuiu para a diminuição da dispersão entre os resultados analíticos e experimentais. Portanto, a densidade mostrou-se um importante parâmetro para a determinação da resistência de embutimento da madeira.

CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método proposto pela norma americana para a determinação da resistência ao embutimento de pinos de aço com diâmetro de 10 mm em madeiras de *Pinus elliottii* forneceu, neste trabalho, uma maior proximidade entre os valores de resistência de embutimento obtidos analiticamente e aqueles obtidos de forma experimental para ambas as direções da madeira, paralela e normal às fibras;

O método proposto pela norma brasileira de madeiras que considera a deformação específica 2‰ como critério limite na determinação da resistência de embutimento da madeira não é uma boa aproximação para a determinação do valor de resistência;

Os valores de resistência ao embutimento fornecidos pela norma europeia foram maiores quando comparados com a norma brasileira e americana, tendo os valores analíticos menores que os valores experimentais, e nesse sentido, seriam os mais representativos para a diminuição do número de parafusos em uma ligação para estruturas de madeira, por exemplo;

A densidade é um importante parâmetro a ser considerado na determinação da resistência ao embutimento da madeira.

■ REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, D.H. **Proposta de método de ensaio para a determinação da resistência da madeira ao embutimento**. 2014. 132f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

2. ALMEIDA, P.A.O. **Uniões pregadas de madeira**. 1987. 123f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
3. AMERICAN NATIONAL STANDARD FOR WOOD PRODUCTS/ AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. **NDS**: american national design and specification for wood construction. Washington. 2001. 263p.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5764**: evaluating dowel-bearing strength of wood and wood-based Products. West Conshohocken, 2007. 5p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
6. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 383**: timber structures - test methods -determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners. Brussels, 2007. 18p.
7. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5**: Part 1-1 - design of timber structures - general rules and rules for buildings. 2004. 127p.
8. MOLINA, J. C.; RIBAS JUNIOR, A. S.; CHRISTOFORO, A. L. **Embedding strength of Brazilian woods and recommendation for the Brazilian standard**. PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-STRUCTURES AND BUILDINGS, v. 1, p. 1-24, 2020.
9. STAMATO, G.C. **Ligações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada**. 2002. 142f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002

“ Resistência de ligações cavilhadas aplicando o método revisado de ensaio de ligações mecânicas em estruturas de madeira

▮ Marcos Cesar de Moraes **Pereira**
EESC USP

▮ Carlito **Calil Junior**
EESC USP

RESUMO

Este estudo determinou a resistência de ligações mecânicas feita através do uso de cavilha de madeira de Pau-roxo (*Peltogyne spp.*, *Leguminosae*) ligando peças de madeira de Pinus (*Pinus Taeda*). O método utilizado foi o proposto no projeto de Norma Brasileira PN 02:126.10-001-4, que foi baseado na norma ISO 6891/1983. O diâmetro da cavilha utilizada foi de 20 mm e as dimensões das peças unidas foram 38 x 90 x 300 mm. O uso de somente uma cavilha de grande diâmetro é justificável como sendo parte de um estudo do uso de cavilhas para confecções de painéis estruturais de lamelas de madeira unidos por cavilhas, chamados de Dowel Laminated Timber (DLT), um tipo de painel desenvolvido nos últimos anos na Europa a partir do Cross Laminated Timber (CLT), que utiliza ligações coladas. A caracterização da madeira de Pau-roxo e da madeira de pinus foi realizada utilizando o método de ensaio da NBR 7190/1997 e os resultados demonstraram que a classe de resistência do pau-roxo foi D60 e do Pinus foi C20. Também foram realizados testes de flexão na cavilha, com obtenção do MOE médio de 18827 MPa. A resistência da ligação obteve o valor do módulo de deslizamento médio (k_s) de 958 kgf/mm, sendo que este índice é utilizado no cálculo da inércia efetiva através do Método Gamma, presente no anexo B do Eurocode 5, e também faz parte do projeto de revisão da norma brasileira NBR 7190 para o cálculo de seções compostas. Concluiu-se que o valor médio obtido para o índice k_s através do ensaio foi 17% inferior ao valor estimado através da equação presente na tabela 7.1 do Eurocode 5, ainda assim esta equação se mostra como um bom estimador do índice k_s para o uso em ligações cavilhadas com madeiras brasileiras.

Palavras-chave: Cavilhas, Deslizamento da Ligação, Painel Cavilhado, DLT.

INTRODUÇÃO

As ligações entre peças de uma estrutura de madeira devem ser consideradas como pontos fundamentais de segurança, pois a falha de uma conexão poderá ser responsável pelo colapso total da estrutura (CALIL JUNIOR, LAHR E DIAS, 2003). As peças de madeira são conectadas geralmente por três tipos principais de dispositivos conectores: Pinos metálicos (pregos e parafusos), cavilhas (pinos de madeira) e conectores metálicos (chapas de dentes estampados ou outros tipos de conectores feito sob medida). Entre os três tipos de conectores, atualmente as cavilhas de madeiras são as menos utilizadas, devido a facilidade e evolução dos conectores metálicos, principalmente os parafusos.

Apesar disso, as cavilhas de madeira ainda representam uma boa alternativa como conexão devido as vantagens ambientais associadas ao uso da madeira como matéria-prima em substituição ao aço e a aplicação em estruturas de armazenamento de materiais que atacam quimicamente os metais, como é o caso do armazenamento de fertilizantes.

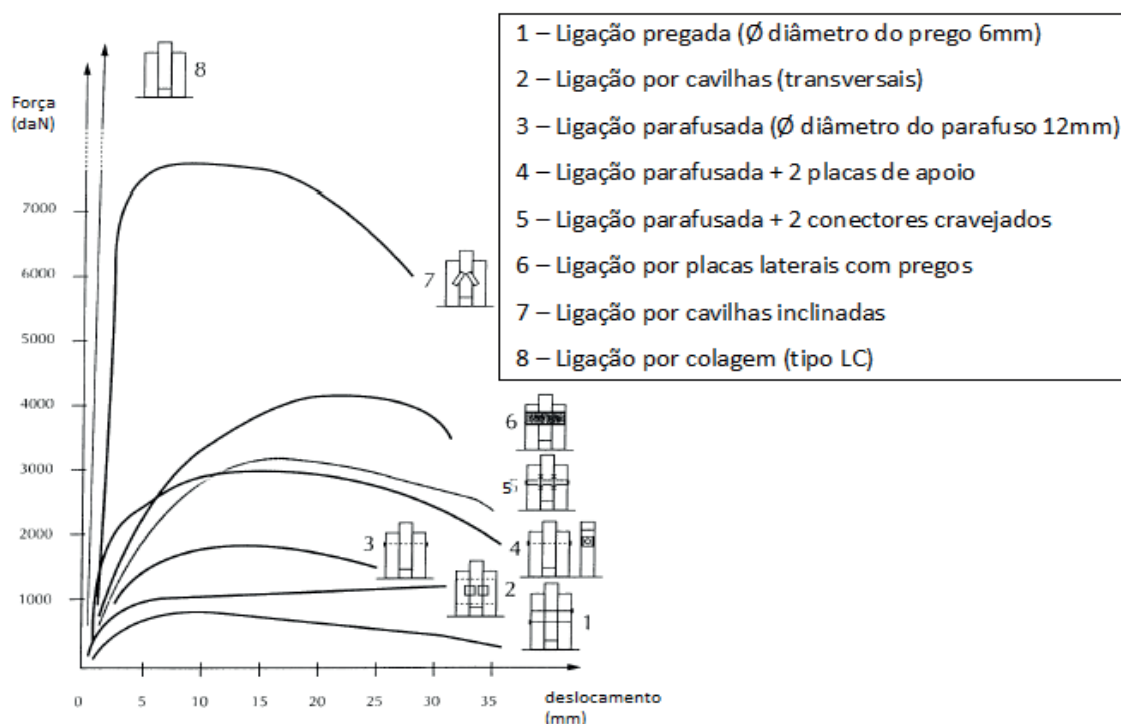
Neste sentido, este estudo determinou a resistência de ligações mecânicas feita através do uso de cavilha de madeira de Pau-roxo (*Peltogyne spp.*, *Leguminosae*) ligando peças de madeira de Pinus (*Pinus Taeda*) seguindo o método utilizado proposto no projeto de Norma Brasileira PN 02:126.10-001-4, que foi baseado na norma ISO 6891 - Timber structures - Joints made with mechanical fasteners (ISO, 1983).

REVISÃO DE LITERATURA

Cavilhas são hastes cilíndricas (pinos) torneadas, de madeira dura, que se encaixam justa e gradualmente sob pressão, em furos abertos nas peças de madeira e podem ser utilizadas nas ligações de peças estruturais de madeira, (GOMES, 1997). A norma brasileira de estruturas de madeira NBR 7190 (ABNT, 1997) estipula o uso de madeira classe D60 ($f_{c0,d} = 60\text{MPa}$) para confecção das cavilhas ou impregnação com resinas que aumentem a resistência de madeiras com classes inferiores a D60. Além disso, a norma também determina os diâmetros de 16, 18 e 20 mm para uso em estruturas, e espaçamento mínimo entre cavilhas para evitar o fendilhamento.

Em comparação a outros tipos de ligações, a ligação cavilhadas apresenta certa ductilidade (SZÜCS; TEREZO; VALLE, 2015). Os mesmos autores apresentam um estudo feito por Le Govic (1995), onde se compara a rigidez dos diversos tipos de ligações estruturais para madeira. A figura 1 apresenta um gráfico comparativo da força *versus* deslocamento de cada modelo de ligação.

Figura 1. Comportamento de ligações por justaposição solicitadas à compressão



Fonte: adaptado de SZÜCS; TEREZO; VALLE, (2015) apud LE GOVIC, (1995)

O uso de ligações cavilhadas, além da aplicação em ligações simples ou duplas, na direção longitudinal dos seguimentos de madeira, por exemplo, nos banzos de uma tesoura, vem sendo aplicado para unir lamelas de vigas e painéis, que originalmente eram colados. Este tipo de aplicação tem crescido, principalmente na Europa, devido às vantagens ambientais que o uso da madeira apresenta, no tocante à Análise de Ciclo de Vida (ACV) destes painéis frente aos painéis produzidos com adesivos químicos.

Clark, Aurenhammer e Spear, (2012), em seu estudo sobre produtos inovadores a base de madeira destacam que todos estes produtos considerados recentes, como por exemplo o uso de compensados e OSB (Oriented Strand Board) em construções de woodframe e os painéis de Madeira Laminada Colada Cruzada, em inglês, Cross Laminated Timber (CLT) foram desenvolvidos na década de 90 ou nas décadas anteriores, exceto por um modelo de painel que foi desenvolvido na década de 2000, chamado pela termo alemão de 'bretts-tapel', que são tábuas de madeira unidas por cavilhas secas em estufa que são inseridas em furos previamente preparados, e assim que elas absorvem a umidade do ambiente o inchamento das cavilhas leva o painel a ter uma pressão interna que mantém as lamelas unidas umas às outras. Neste tipo de painel o diâmetro da cavilha é cerca de $\frac{1}{4}$ da altura da seção transversal das lamelas.

Neste trabalho, a análise das ligações cavilhadas foi feita com cavilhas de grandes diâmetros pois faz parte de um estudo sobre o uso de cavilhas para a produção de painéis.

MATERIAIS E MÉTODOS

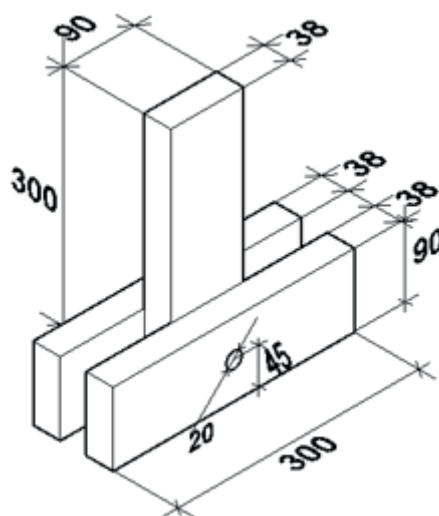
Materiais

Os materiais utilizados para confecção dos corpos-de-prova para o ensaio da ligação cavilhada foram:

- Madeira de Pau-roxo (*Peltogyne spp.*, *Leguminosae*) para fabricação das cavilhas usadas nas ligações, que possuíam diâmetro de 20 mm e comprimento de 100 mm;
- Madeira de Pinus (*Pinus Taeda*) para as peças a serem conectadas pelas cavilhas de pau-roxo, sendo o corpo-de-prova de ligação composto por três peças, com dimensões de 38 x 90 x 300 mm.

A figura 2 apresenta as dimensões das peças utilizadas bem como o esquema geral do corpo-de-prova para o ensaio de ligação entre peças perpendiculares com as dimensões recomendadas no anexo A do projeto de Norma Brasileira PN 02:126.10-001-4.

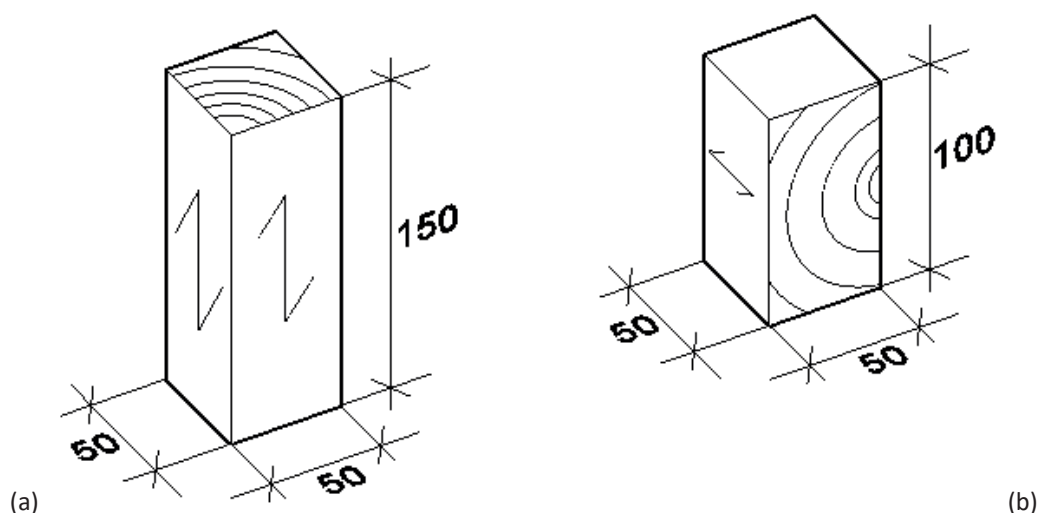
Figura 2. Medidas dos corpos-de-prova ensaiados, medidas em mm.



Fonte: Próprio Autor

Para os ensaios de compressão normal e paralela, os corpos-de-prova utilizados foram das mesmas madeiras utilizadas para a confecção do corpo-de-prova de ligação, com as dimensões recomendadas pelo anexo B da Norma Brasileira de Estruturas de Madeira NBR 7190 (ABNT, 1997), conforme apresentado na figura 3.

Figura 3. Medidas dos corpos-de-prova para ensaio de compressão paralela (a) e normal (b) às fibras, medidas em mm.



Fonte: Próprio autor

Métodos

Ensaio de compressão normal e paralela às fibras

Os ensaios de compressão normal e paralela às fibras foram desenvolvidos segundo o anexo B da Norma Brasileira de Estruturas de Madeira NBR 7190 (ABNT, 1997). O ensaio foi realizado utilizando uma máquina de universal de ensaio, marca Amsler, até a carga máxima ser atingida. Os valores de resistência à compressão paralela e normal às fibras são obtidos através das equações 1 e 2.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (1)$$

$$f_{c90} = \frac{F_{c90,max}}{A} \quad (2)$$

Onde:

$F_{c0,max}$ é a máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova de compressão paralela às fibras durante o ensaio;

$F_{c90,max}$ é a máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova de compressão normal às fibras durante o ensaio;

A é a área inicial da seção transversal comprimida do corpo-de-prova;

Ensaio de ligação perpendicular

O método utilizado para o ensaio de ligação foi o proposto no projeto de Norma Brasileira PN 02:126.10-001-4, que se encontra em análise, e que foi baseado na norma ISO 6891/1983. Como recomendado pela norma, o ensaio foi realizado utilizando uma máquina universal de ensaio da marca Amsler, e os deslizamentos foram aferidos com relógios comparadores com precisão de 0,01 mm. A figura 4 mostra o corpo-de-prova durante o ensaio.

Figura 4. Corpo-de-prova de ligação perpendicular.

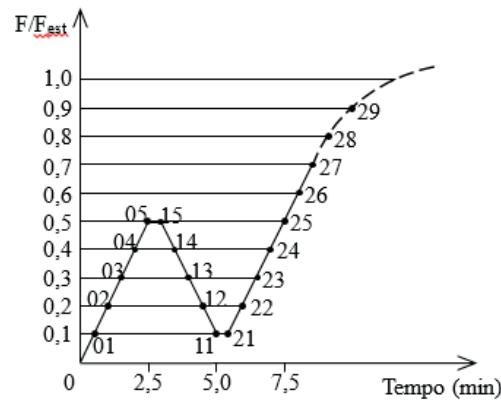


Fonte: Próprio autor

O procedimento da norma recomenda determinar a força máxima estimada (F_{est}) através de cálculos ou testes preliminares. Neste estudo foi utilizado um corpo-de-prova como referencial, com o qual estimou-se a carga máxima para os demais, após a ruptura deste primeiro. Após a determinação da Força Estimada, segue-se o procedimento indicado na figura 5, na qual o ensaio inicia aplicando-se uma carga equivalente à 0,5 vezes a Força Estimada, mantendo-se por 30 segundos, descarrega-se até uma carga de 0,1 vezes a Força Estimada e mantém por mais 30 segundos. Posteriormente aumenta-se a carga novamente até atingir a força última ou o deslizamento de 15 mm.

Abaixo de 0,7 vezes da Força Estimada o carregamento deve ser realizado com velocidade aplicação de força ou deslizamento constante, correspondente a 0,2 vezes a Força Estimada por minuto. Acima de 0,7 vezes a Força Estimada, a velocidade deve ser mantida constante, ajustada de forma que a força última ou o deslizamento de 15 mm seja atingido em um tempo adicional de 3 a 5 minutos. O teste deve ser encerrado quando a força última for alcançada ou o deslizamento de 15 mm for atingido.

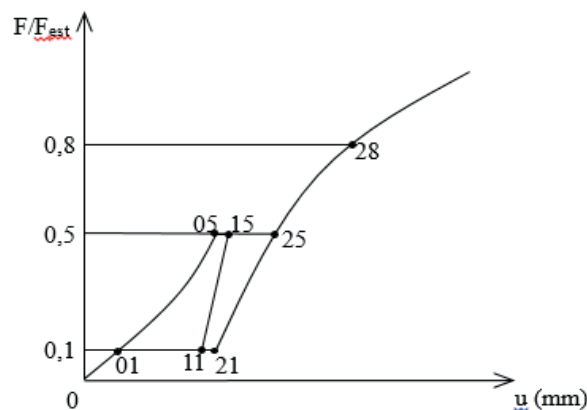
Figura 5. Forma de aplicação do carregamento.



Fonte: PN 02:126.10-001-4

As medidas dos deslizamentos chamados de u_{01} , u_{05} , u_{14} , u_{11} , u_{21} , u_{25} , e u_{28} , apresentados na Figura 6, são registrados durante o teste para cada ponto, conforme indicado no gráfico, baseado na carga da Força Estimada.

Figura 6. Diagrama força x deslizamento da ligação.



Fonte: PN 02:126.10-001-4

A Força Máxima ($F_{\max}$) será o valor da força correspondente ao deslizamento de 15 mm ou o valor máximo obtido antes do deslizamento alcançar 15 mm.

A partir das medidas registradas, são determinados os seguintes valores, para cada teste:

- Força máxima aplicada: $F_{\max}$
- Força Máxima Estimada: F_{est}
- Deslizamento Inicial (1º carregamento): $u_i = u_{05}$
- Deslizamento Inicial Modificado: $u_{i,\text{mod}} = \frac{5}{4}(u_{05} - u_{01})$
- Acomodação da Ligação: $u_s = u_i - u_{i,\text{mod}}$
- Deslizamento a 10% (1º carregamento): u_{01}

- Deslizamento inicial modificado: $u_{i,mod}$
- Deslizamento a 50% (1º carregamento): u_{15}
- Deslizamento a 50% (2º carregamento): u_{25}
- Deslizamento a 10% (descarregamento): u_{11}
- Deslizamento a 10% (2º carregamento): u_{21}
- Deslizamento Elástico: $u_e = \frac{5}{8}(u_{15} + u_{25} - u_{11} - u_{21})$
- Deslizamento para $0,8 F_{max}$: $u_{0,8}$
- Deslizamento para $0,8 F_{max}$ Modificado: $u_{0,8,mod} = u_{0,8} - u_{25} + u_{i,mod}$
- Módulo de Deslizamento Inicial: $k_i = 0,5F_{est} / u_i$
- Módulo de Deslizamento: $k_s = 0,5F_{est} / u_{i,mod}$

Estimativa do Módulo de Deslizamento pelo método do Eurocode 5

A atual revisão da NBR 7190 (ABNT, 1997) adota o método de cálculo para seções compostas semelhante ao previsto no Eurocode 5 – *Design of Timber Structures* (CEN, 2004), a norma de estruturas de madeira europeia. Neste método, o módulo de deslizamento da ligação (K_{ser}) é utilizado para o cálculo do fator gamma, que funciona como um redutor na equação para determinação da rigidez efetiva (EI).

Como comparativo, os valores obtidos através do ensaio da ligação foram comparados aos valores obtidos através do estimador previsto no item 7.1 do Eurocode 5, para cavilhas de madeira, e apresentado na equação 3.

$$k_{ser} = \rho^{1,5} \cdot \frac{d}{23} \quad (3)$$

Onde: ρ é a densidade da madeira; d é o diâmetro da cavilha.

Ressalta-se que na atual revisão da NBR 7190 o estimador k_{ser} tem um denominador igual a 20 e não 23, somente indicado para o uso em ligações pregadas.

Ensaio de flexão na cavilha

O procedimento de ensaio de flexão nas cavilhas foi realizado usando o método do ensaio proposto pelo anexo B da Norma Brasileira de Estruturas de Madeira NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo um ensaio à três pontos. Foi realizado utilizando uma máquina universal de ensaio, marca Emic, modelo DL 3000. As cavilhas para o ensaio de flexão, confeccionadas com a madeira de pau-roxo, diâmetro de 20 mm e comprimento de 410 mm, para atender a relação $L/h > 21$ para evitar a influência do cisalhamento na flexão.

RESULTADOS FINAIS

Compressão paralela e normal às fibras

Os resultados obtidos no ensaio de compressão paralela e normal às fibras para a madeira de pau-roxo e pinus são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de compressão normal e paralela

	Pau-roxo		Pinus	
	$F_{c,90}$	$F_{c,0}$	$F_{c,90}$	$F_{c,0}$
Média (MPa)	12,34	82,83	10,5	42,26
Valor característico (MPa)	12,00	81,00	5,25	21,00

Ensaio das ligações cavilhadas

Os resultados obtidos no ensaio de ligação cavilhada são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de Corpos de Prova para ligações cavilhadas

Grandezas		Corpos de Prova				
		CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
F_{max}	(Kgf)	1360	1590	1630	1560	1630
F_{est}	(Kgf)	1500	1500	1500	1500	1500
$u_l = u_{05}$	(mm)	0,93	0,83	0,51	0,78	0,82
u_{01}	(mm)	0,22	0,175	0,06	0,095	0,07
$u_{l,mod}$	(mm)	0,88	0,81	0,56	0,85	0,94
u_s	(mm)	0,04	0,01	-0,05	-0,08	-0,12
u_{15}	(mm)	0,94	0,825	0,53	0,795	0,86
u_{25}	(mm)	0,96	0,85	0,54	0,73	0,89
u_{11}	(mm)	0,18	0,36	0,22	0,26	0,32
u_{21}	(mm)	0,18	0,345	0,21	0,245	0,3
u_e	(mm)	0,97	0,61	0,40	0,64	0,71
$u_{0,8}$	(mm)	1,91	1,77	1,17	1,45	2,22
$u_{0,8mod}$	(mm)	1,84	1,73	1,19	1,58	2,27
k_i	(Kgf/mm)	810,8	909,1	1470,6	967,7	914,6
k_s	(kgf/mm)	851,1	923,1	1333,3	882,4	800,0

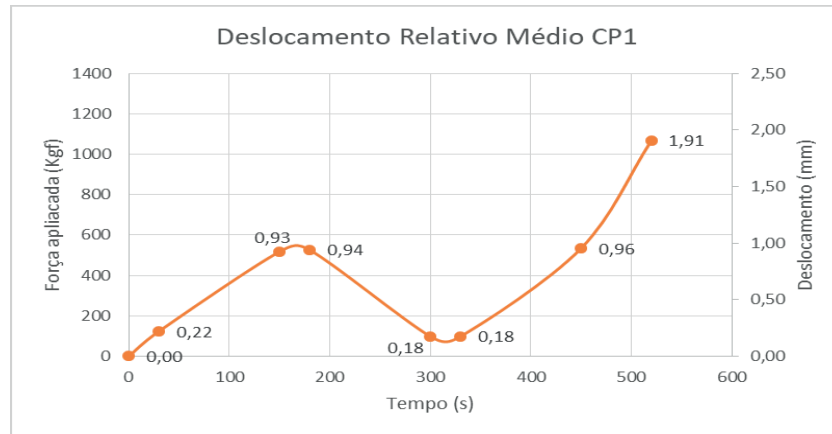
Sendo os valores médios dos módulos de deslizamento foram:

$$\bar{k}_i = 1014 \text{ kgf / mm}$$

$$\bar{k}_s = 958 \text{ kgf / mm}$$

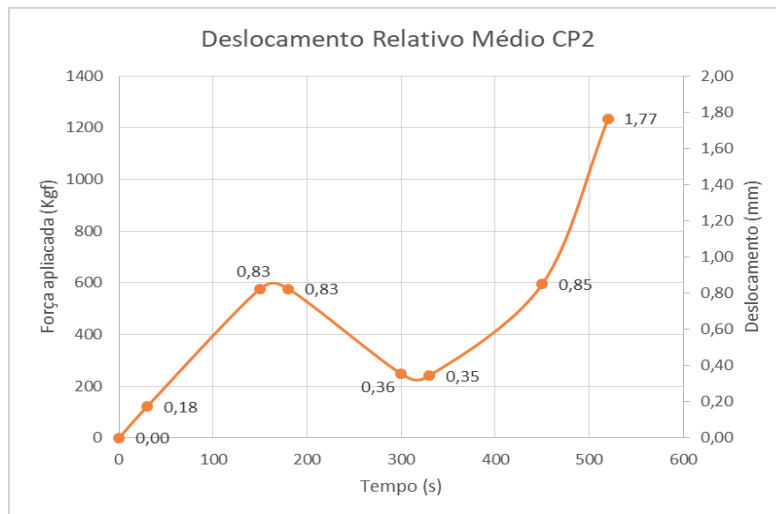
As figuras 7 a 11 apresentam os gráficos de deslocamentos dos elementos dos corpos-de-prova quando submetidos a cargas no decorrer do tempo de ensaio.

Figura 7. Deslocamento relativo médio CP1



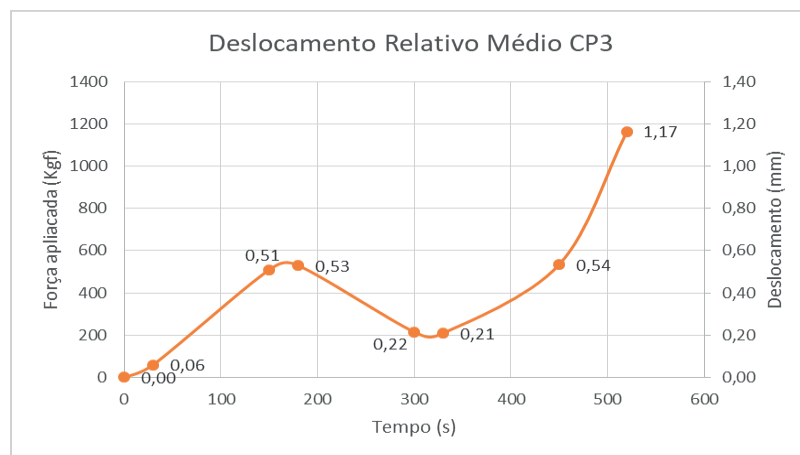
Fonte: próprio autor

Figura 8. Deslocamento relativo médio CP2



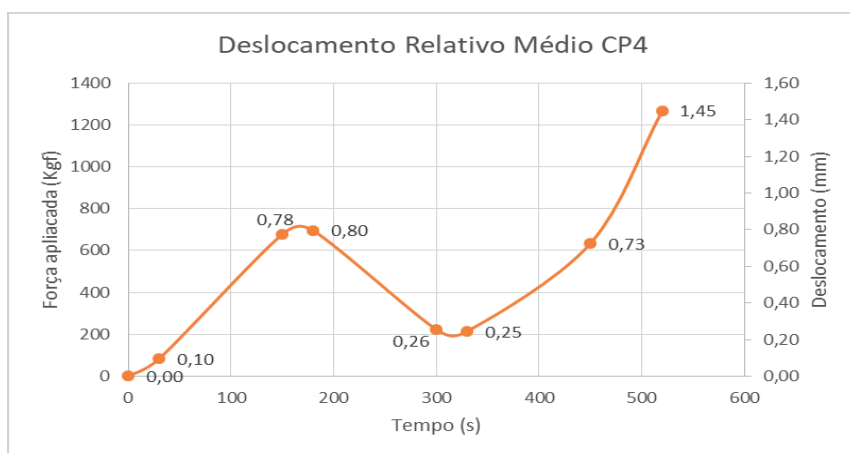
Fonte: próprio autor

Figura 9. Deslocamento relativo médio CP3



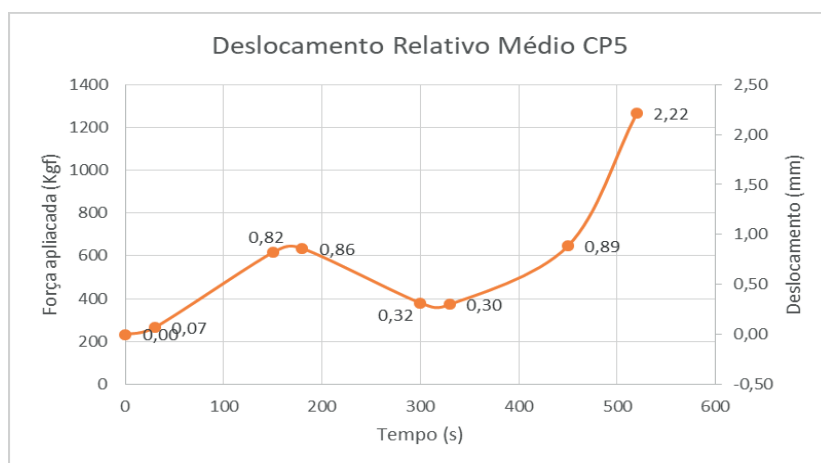
Fonte: próprio autor

Figura 10. Deslocamento relativo médio CP4



Fonte: próprio autor

Figura 11. Deslocamento relativo médio CP5



Fonte: próprio autor

Módulo de deslizamento (k_{ser}) pelo estimado do Eurocode 5

Utilizando a equação 1, com a densidade da madeira de pinus de 553 kgf/m³ e o diâmetro da cavilha de 20 mm, obteve-se o valor de 1153,10 Kgf/mm.

Resultados do ensaio de flexão nas cavilhas

Os resultados para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) médios obtidos pelo ensaio de flexão em 10 cavilhas são apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Valores de MOE e MOR médios das cavilhas de pau-roxo

MOE (MPa)	MOR (MPa)
18827	81,13

CONCLUSÕES

Com os resultados dos ensaios realizados observa-se que o valor médio obtido para o índice k_s através dos ensaios foram de 958,35 kgf/mm sendo este 17% inferior ao valor estimado através da equação presente na tabela 7.1 do Eurocode 5, que foi de 1153,10 kgf/mm. O valor do deslizamento da ligação é um parâmetro importante para o dimensionamento da rigidez efetiva, e o uso da equação do Eurocode 5, que estima este valor baseado na densidade da madeira e diâmetro da cavilha, estimou o valor acima dos valores obtidos nos ensaios. Como este valor é utilizado para o cálculo do fator gamma que considera o módulo de elasticidade, a área da seção transversal e o vão, e que posteriormente é usado como redutor na equação da inércia efetiva, pode-se concluir que a diferença da ordem de 17% não influirá significativamente nos resultados, porém recomenda-se repetir os testes com outras espécies e maior número de corpos-de-prova afim de equacionar de forma mais realista o estimador do índice de deslizamento para madeiras brasileiras.

■ REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**. Projetos de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997. 73p.
2. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5**: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, EN 1995-1-1:2004, Bruxelas, 2004. 123p.
3. CALIL JUNIOR, C; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri, Manole, 2003.
4. CLARK, D.; AURENHAMMER, P.; SPEAR, M. **Innovative wood-based products**. In: UNECE/FAO Forest Products Annual Market Review, 2011-2012. p. 141–151.
5. GOMES, O. F. **Estudo das ligações cavilhadas impregnadas com resinas estirênicas empregadas em estruturas de madeira**. 1997. 240f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
6. INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. **ISO 6891:1983** Timber structures — Joints made with mechanical fasteners — General principles for the determination of strength and deformation. Genebra, 1983. 70p.
7. SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, A. M. P. D. **Estruturas de Madeira**. Universidade federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, 2015. 219p.

“

Sistema estrutural em madeira de reflorestamento para implantação de passarela modular em trilha ecológica no Jardim Botânico de Bauru, SP.

▮ Tomás Queiroz Ferreira **Barata**
FAU - USP

▮ Pedro Alexandre **Aniceto**
FAAC - UNESP

▮ Luttgardes de **Oliveira Neto**
FEB - UNESP

▮ Miguel Mbona **Paulo**
FAU - USP

RESUMO

O trabalho apresenta o projeto de sistema construtivo de passarela modular suspensa, destinada à visitação pública em trilha ecológica no Jardim Botânico de Bauru, SP. O objetivo do trabalho é demonstrar o processo projetivo de componentes pré-fabricados em madeira serrada e roliça com ênfase no modelamento paramétrico em ambiente virtual. A metodologia do trabalho demonstra as etapas do processo projetivo de sistema construtivo modular, considerando os seguintes aspectos: a) configuração de componentes pré-fabricados; b) detalhamento de conexões estruturais; c) etapas da prototipagem virtual paramétrica dos componentes e; d) simulação virtual do processo de montagem. Como resultados, a pesquisa apresenta as diretrizes e condicionantes para a produção e implantação do projeto e um conjunto de peças gráficas em ambiente 3D representativo do processo projetivo do sistema construtivo. Considera-se que a adoção de métodos e ferramentas projetivas em ambiente 3D é fundamental para viabilizar a produção de sistemas construtivos racionalizados e de baixo impacto ambiental, com vista ao atendimento de demandas e exigências contemporâneas de responsabilidade com a preservação do planeta.

Palavras-chave: Sistema Construtivo, Componentes Pré-Fabricados, Processo Projetivo, Modelagem Virtual Paramétrica.

INTRODUÇÃO

O entendimento dos processos naturais do planeta Terra nos proporciona uma visão mais abrangente de como utilizar seus recursos, de maneira que o ambiente seja capaz de suprir futuras gerações. Assim, o conceito sustentável consegue atingir suas mais variadas escalas, agregando valores culturais a partir da compreensão das cadeias produtivas oriundas de matérias-primas oferecidas pela natureza.

A madeira apresenta uma admirável vitalidade, uma grande versatilidade, leveza e resistência, além da facilidade de poder ser trabalhada com ferramentas mecânicas simples, qualidades estas que têm lhe proporcionado o mais longo e variado papel na evolução da cultura humana.

Suas características, tais como grande proliferação em plantações e ótima sequestradora de carbono, somadas ao seu caráter de material renovável, nos levam à questão do por que não utilizá-la com maior frequência como matéria prima na construção civil.

Em nível mundial, o desenvolvimento da indústria da madeira ocorreu principalmente na Europa. O desenvolvimento deste setor para estruturas de cobertura propiciou o surgimento de diversos sistemas de ligação pré-fabricados, viabilizando a montagem de grandes obras em escala industrial.

Além disso, seu uso foi bastante explorado pelos asiáticos através de técnicas milenares; também se mostra presente na América Latina, em países como Peru, Brasil, Chile, Equador e Colômbia, onde vários exemplos de edificações confirmam sua potencialidade como material de construção.

Na atual conjuntura da construção civil no Brasil, considerando a utilização de materiais provenientes de fontes renováveis e o desenvolvimento de técnicas construtivas inovadoras e “mais” sustentáveis, a madeira se apresenta como uma alternativa muito eficiente e promissora. Existem inúmeras formas de utilização da matéria prima, desde roliça, serrada, até em forma de chapas e fibras coladas. As formas mais encontradas são: em toras (material roliço); serrada (material de seção quadrangular ou retangular); laminada (material composto por chapas sobrepostas e fixadas com cola de alta resistência), entre outros.

A utilização da madeira de reflorestamento como material construtivo e estrutural merece destaque por dois aspectos principais: reduzido custo se comparado aos materiais derivados do ferro fundido, tais como o aço carbono e o alumínio, e por possuir grande capacidade de resistência mecânica frente ao seu baixo peso específico.

Na cultura construtiva brasileira, edificações que se utilizam da madeira como matéria-prima vêm sendo produzidas de forma consistente, mostrando-se, sucessivamente, como um material promissor, nos quais crescem pesquisas de campo e investigações de alta relevância científica.

O projeto *Passarela Estaiada para Pedestres* em Vallorbe, Suíça, apresentado na figura 1a, retrata o projeto de um sistema construtivo com tabuleiro de madeira serrada laminada,

protendida em módulos curvos, sustentada por apenas um poste roliço de madeira da espécie *Eucalypto Citriodora*.

Outro projeto que merece destaque está apresentado na figura 1b. Trata-se da *Passarela Rainbow*, localizada ao longo do Canal de Pien, na China. A construção utiliza um método de construção chinês datado século XII, e que foi aprimorado por um grupo de engenheiros para a execução de um sistema de estrutura em arcos com peças de madeira roliça entrelaçadas.

Figura 1. Exemplo de aplicação da madeira para composição de sistema estrutural em madeira roliça (a) e (b)



(a)



(b)

Dentro da realidade brasileira, entre os projetos reconhecidos com o uso da madeira, está a sede do Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola – IMAFLORA, localizada na cidade de Piracicaba – SP.

O sistema construtivo em madeira serrada, desenvolvido para a sede do Instituto, foi concebido a partir de modulação estrutural de conjuntos pilar, viga composta e treliça de cobertura. É importante a ressalva de que o sistema construtivo pré-fabricado empregou matéria-prima cem por cento proveniente de áreas certificadas ou em processo de certificação.

As figuras 2a e 2b ilustram os processos de construção, enquanto que as figuras 2c e 2d apresentam a obra finalizada.

Figura 2. Exemplo de aplicação estrutural da madeira em forma serrada. Sede do Instituto de Manejo Florestal e Agrícola – IMAFLORA, localizado cidade de Piracicaba – SP. (a), (b), (c), (d)



(a)



(b)



(c)

(d)

Arquitetos como Severiano Mario Porto e Marcos Acayaba trabalharam a madeira de forma dinâmica, eficaz e variada, obtendo resultados duradouros e que estabeleceram, ao longo do tempo, referências técnico-construtivas capazes de encorpar o escopo de atuação dos profissionais de engenharia e arquitetura.

Destacamos o *Centro de Proteção Ambiental de Presidente Figueiredo/Amazonas*, realizado por Severiano Porto (Figuras 3a, 3b e 3c).

Figura 3. Aplicação estrutural da madeira em forma roliça pelo arquiteto Severiano Mario Porto – Centro de Proteção Ambiental de Presidente Figueiredo – AM. (a), (b) e (c)



(a)



(b)



(c)

Tendo por base os projetos citados acima, cuja temática centra-se na aplicação estrutural do uso da madeira na arquitetura e na construção civil, o presente artigo trata do resgate ao processo de projeto empregado para o desenvolvimento do sistema estrutural em madeira de reflorestamento apresentado neste artigo. O sistema construtivo desenvolvido dá origem à uma passarela suspensa para a implantação em trilha ecológica, no Jardim Botânico de Bauru/SP.

O sistema estrutural é composto por elementos pré-fabricados em madeira roliça e serrada da espécie Eucalipto *Corymbia citriodora*. Emprega, também, perfis metálicos enrijecidos e chapas de aço carbono para a execução das vigas mistas que irão sustentar os tabuleiros de madeira.

Os objetivos deste trabalho buscam demonstrar as etapas do processo projetivo de sistema construtivo modular, considerando os seguintes aspectos: a) configuração de

componentes pré-fabricados; b) detalhamento de conexões estruturais; c) etapas da prototipagem virtual paramétrica dos componentes; d) simulação virtual do processo de montagem e; e) análise dos dados obtidos.

Consideramos, desta forma, que a adoção de métodos e ferramentas projetivas em ambiente 3D é fundamental para viabilizar a produção de sistemas construtivos racionalizados e de baixo impacto ambiental, com vista ao atendimento de demandas e exigências contemporâneas de responsabilidade com a preservação do planeta.

REVISÃO DE LITERATURA

Sustentabilidade na construção civil

A partir da década de 1970, com o início da crise do petróleo, tornou-se cada vez mais recorrente entre os pesquisadores o interesse por estudos relacionados às questões extrativistas de recursos naturais. Os especialistas no tema passaram a atribuir aos processos construtivos a responsabilidade pelo esgotamento de parte considerável das reservas naturais do planeta, por estes consumirem grande quantidade de energia, produzirem grande quantidade de CO², além de causarem diversos outros impactos poluidores presentes em suas cadeias de produção.

Duas décadas mais tarde, a Agenda 21 – Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD) – ocorrida na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1992, apontava a aplicação da madeira na construção como um fator relevante para o desenvolvimento sustentável. Esta condição, por certo, demonstra o caráter imprescindível da vinculação do projeto arquitetônico à utilização de materiais renováveis.

De acordo com BARATA (2008), as discussões recentes sobre a atividade da construção civil e os consequentes impactos no meio ambiente estão sendo ampliadas no sentido de uma abordagem “mais” sustentável, tendo em vista os elevados níveis de consumo urbano nos países industrializados. O autor afirma que, nos países em desenvolvimento, os assentamentos humanos necessitam de mais matéria-prima, energia e desenvolvimento econômico para superarem seus problemas socioeconômicos básicos.

Sobre o conceito de sustentabilidade ambiental na construção civil, pode-se afirmar que:

“[...] O alcance da sustentabilidade ambiental na construção civil depende da análise de todo o processo de construtivo, desde as fases iniciais de concepção, passando pela fabricação de peças e construção do edifício, continuando pela fase de utilização e se estendendo até o final da vida útil da edificação, incluindo as etapas de manutenção e de demolição” (BARATA, 2008, p.08)

Sobre os principais aspectos e desafios da Agenda 21 para o alcance da sustentabilidade na construção civil, o autor aponta:

“[...] 1) Gerenciamento e organização; 2) produtos e construções; 3) consumo de recursos; 4) impactos da construção no desenvolvimento urbano; 5) carga/opressão ao meio ambiente e 6) aspectos sociais, culturais e econômicos.” (BARATA, 2008, p. 18).

Buscando a consolidação de novos métodos para o desenvolvimento da produção dentro da construção civil, MELHADO (2002) afirma que a pré-fabricação de peças-componente, produtos e materiais construtivos surgiu com a proposta de industrialização do setor, quando se defendia que a indústria da construção deveria se aproximar dos paradigmas de uma indústria fabril seriada. O autor aponta que o conceito tem sido frequentemente revisado, de modo que nos últimos anos o termo passou a ser considerado como:

“[...] a demanda por um processo mais amplo do que a simples fabricação seriada de um produto ou componente da indústria. A ideia de industrialização da construção vai além da simples adoção de métodos de pré-fabricação, caracterizando-se como princípios sistematizados de extração de matéria-prima e de organização das atividades de produção, requerendo investimento crescente em pesquisa e inovação tecnológica.” (MELHADO; 2002, p. 78).

O engenheiro salienta a preocupação com a qualidade e com os princípios de organização produtiva, afirmando que o planejamento e o desenvolvimento de projetos devem ser abordados a partir de alguns métodos de racionalização, constituindo-se como:

“[...] ferramenta importante para a diminuição de custos de produção, obtenção do desempenho almejado do produto ou componente e redução da ocorrência de falhas no processo de produção e no produto final, pela otimização das atividades de execução.” (MELHADO, 2002, p. 83).

Compreendemos que racionalização das etapas de construção deve ser entendida como um processo dinâmico, que torna possível a otimização dos recursos ambientais, humanos, materiais, organizacionais, tecnológicos e financeiros, visando atingir os objetivos fixados nos planos de desenvolvimento de cada país e de acordo com a realidade sócio econômica própria.

“[...] o avanço tecnológico e a racionalização dos processos construtivos foram fatores determinantes, até então, para a evolução dos diferentes sistemas de produção, possibilitando o crescimento e o desenvolvimento de novas tecnologias por parte de diversos setores da construção civil (MELHADO, 2002, p. 83).

CARDOSO (2007) e BARATA (2011) afirmam que a racionalização dos métodos de projeto para a produção de peças, produtos e materiais para a construção configura-se viável por possibilitar:

[...] a minimização de danos ambientais e o aprimoramento de tecnologias construtivas de baixo impacto ambiental. Os objetivos de inovação tecnológica e de pré-fabricação de componentes e produtos se mesclam na busca de métodos de planejamento e execução que atendam à eficiência produtiva e à minimização de impactos ambientais simultaneamente (CARDOSO, 2007 p. 13).

Entendemos que as iniciativas apontadas acima possibilitam um grande controle de desempenho de produtos e sistemas, o aprimoramento de processos e produtos, a otimização de custos de produção, a redução do tempo de construção, a minimização de resíduos nas cadeias de produção de materiais e componentes e a diminuição de impactos ambientais, dentre outros benefícios.

Com este propósito em vista, este trabalho se insere nas atividades de pesquisa em que pretendem o aprimoramento do sistema construtivo de passarelas modulares suspensas a partir do emprego de madeira de reflorestamento. Através desta opção, buscamos nos alinhar às abordagens que pretendem elevar a madeira roliça cultivada em bosques à condição de elemento formal da construção, direcionada à aplicação específica em métodos de racionalização de projetos para construções de caráter sustentável.

A madeira de reflorestamento no cenário brasileiro

Segundo CALIL (2006) no Brasil, a partir de 1966, o governo instituiu um programa de incentivos fiscais para aumentar a área plantada de Eucalipto e Pinus no país. Em poucos anos, a área com plantações de Eucalipto saltou de 400 mil para 3 milhões de hectares.

Com destaque histórico, as áreas de florestas plantadas no Brasil acumularam em 2008 o total estimado de 6.126.000 ha com eucalipto e pinus. Este total, segundo os autores, representa um acréscimo de cerca de 282.000 a plantados em relação ao total estimado do ano anterior (5.844.367 ha).

Constata-se crescimento de 7,3% na área plantada com eucalipto e queda de 0,4% no pinus, o que resulta em um aumento de 4,38% da área com florestas plantadas acumulada até 2008, em relação a 2007, conforme estatística da ABRAF (2009), (CALIL 2006 p. 26).

Na atualidade, a utilização da madeira de reflorestamento Eucalipto e Pinus para fins estruturais na construção civil, como uma alternativa às espécies nativas e/ou tropicais, é uma solução adequada. (CALIL, 2006, p. 32). As peças estruturais são normalmente utilizadas

em suas formas roliça ou serrada, ou a partir de composições mistas, com tratamento preservativo realizado por sistema de autoclave.

A despeito da adoção de madeira de reflorestamento para o projeto de estruturas, CALIL (2006) indica que:

“Seu emprego tem aumentado de forma promissora, sobretudo aplicada ao desenvolvimento de pesquisas para a divulgação de novos sistemas construtivos, que empregam a referida matéria-prima como material construtivo de projeto”. (CALIL, 2006, p. 09).

Através do volume intitulado “Manual de Projeto e Construção de Estruturas com Madeira Roliça de Reflorestamento”, publicado no ano de 2008, Carlito Calil Jr. e Leandro Dussart Brito afirmam que a forma cilíndrica apresenta relevante capacidade de resistência às sobrecargas de curta duração, sem que estas comprometam, portanto, o equilíbrio mecânico do sistema estrutural adotado. Pode representar também grande economia de energia, desde os processos de abate às etapas de pré-produção e instalação em canteiro de obra. (CALIL & BRITO, 2008, p. 41).

“A madeira de reflorestamento com peças roliças têm se destacado na forma de sistemas estruturais com as mais diversas aplicações, tais como: em estacas de fundações; passarelas e pontes; edificações residenciais; instituições de ensino; galpões rurais; estabelecimentos comerciais e hotelarias; sedes de parques turísticos, ecológicos e ambientais; terminal de aeroportos e torres de observação, estruturas provisórias de cimbramentos, defensas de rodovias e barreiras acústicas, entre outros, construídos no Brasil e no exterior”. (CALIL & BRITO, 2008, p. 154).

A madeira roliça de reflorestamento é, portanto, representante inegável de aspectos que contribuem para o equilíbrio do meio ambiente, na forma de: alternativa ao uso ostensivo das florestas nativas; proteção aos solos, às nascentes de rio e aos cursos de água quando corretamente manejadas; baixa demanda energética para aparelhamento dos elementos estruturais e redução do efeito estufa a partir do sequestro de dióxido de carbono nas florestas regenerativas, dentre outros.

O engenheiro e pesquisador Eugen Stumpp, professor da Universidade de Caxias do Sul, fundamenta a sua hipótese com muito destaque à utilização do Pinus e do Eucalipto para o projeto de estruturas, no que se refere ao mencionado potencial de sequestro de dióxido de carbono proporcionado pelas florestas cultivadas. O pesquisador afirma que em florestas virgens e nativas, a relação de sequestro de CO₂ já está em equilíbrio. Os grandes devoradores de dióxido de carbono são as árvores em fase de crescimento, sendo que quanto maior sua rotatividade mais eficiente é o processo. (CALIL & BRITO, 2008, p. 31).

Ainda, o renomado geógrafo, professor e pesquisador da Universidade de São Paulo, Aziz Ab'Saber, procurou introduzir no Brasil as chamadas “florestas sociais”. A partir da implementação destes programas sociais, o pesquisador almejava o aproveitamento de solos pobres para o plantio de árvores de alta rotação, aspirando os benefícios do sequestro de dióxido de carbono em sistemas reflorestados. Aziz Ab'Saber reconheceu, durante suas pesquisas, o Pinus e o Eucalipto como as espécies que melhor se enquadrariam na proposta. (AB'SABER, 2007, p. 259-263).

Estes apontamentos justificam o desenvolvimento de futuras pesquisas que almejam encontrar alternativas de materiais viáveis economicamente e que atendam aos requisitos da sustentabilidade ambiental na construção civil, elencados pelos autores CALIL (2006), CALIL & BRITO (2008, 2011), BARATA (2008) e BARBOSA (2011).

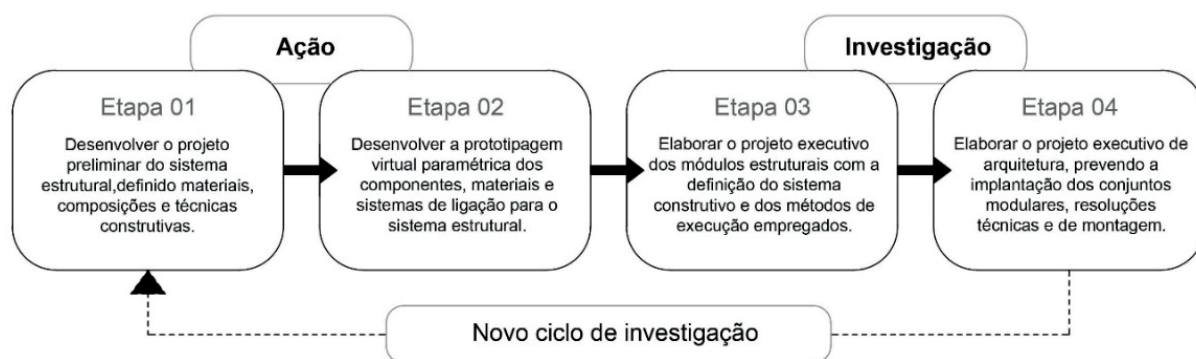
MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no trabalho se enquadra em uma pesquisa-ação, um dos inúmeros tipos de investigação-ação que, de uma maneira genérica, promove uma abordagem de processo que gera um ciclo no qual se aprimora a realidade pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e analisar a respeito dessa prática. Em outras palavras, a investigação-ação se baseia em uma tentativa continuada, sistemática e empiricamente fundamentada de aprimorar a prática.

THIOLLENT (2003) aponta que a pesquisa-ação pode ser utilizada quando há simultaneidade entre a pesquisa e a resolução (ação) de um problema coletivo no qual pesquisadores, projetistas, mão-de-obra e demais atores estejam envolvidos de modo cooperativo ou participativo. A maioria dos processos que visa a incrementar melhorias ou promover aumento de qualidade em projetos e produtos segue o seguinte ciclo: a) planejar uma solução; b) agir para implantar a melhora planejada; c) monitorar e descrever os efeitos da ação; d) avaliar os resultados da ação e sua eficácia.

A Figura 5 apresenta a representação de um ciclo básico de investigação-ação adaptado para a pesquisa. A sistematização do processo de ação-investigação do trabalho se dividiu em quatro etapas, sendo: 1) Desenvolvimento do projeto preliminar do sistema estrutural, definindo materiais, composições e técnicas construtivas empregadas; 2) Desenvolver a prototipagem virtual paramétrica dos componentes, materiais e sistemas de ligação para o sistema estrutural; 3) Elaborar o projeto executivo dos módulos estruturais com a definição do sistema construtivo e dos métodos de execução a serem empregados; 4) Elaborar o projeto executivo de arquitetura, prevendo a implantação dos conjuntos modulares, a locação dos pilares, o projeto de fundações, definindo as técnicas empregadas e as estratégias de montagem previstas para o campo.

Figura 5. Ciclo de investigação-ação implantado no trabalho. Fonte: Autores, 2017.



O ciclo de investigação-ação implantado no trabalho se organiza da seguinte forma, na etapa 01 foram desenvolvidas as atividades projetivas à mão e com o auxílio preliminar de *softwares* de modelagem virtual. Na etapa 02 foi desenvolvida a modelagem virtual paramétrica dos componentes e interfaces, definindo materiais e sistemas de ligação para o sistema estrutural pré-definido. Na etapa 03 foi elaborado com o *software AutoCad* todo o projeto executivo do módulo estrutural para a produção dos componentes pré-fabricados, além de todo o detalhamento dos sistemas de ligação e a codificação das peças, componentes e interfaces.

A etapa 04 dedicou-se à elaboração do projeto executivo de arquitetura, investigando composições formais para os módulos definidos em projeto e definindo o trajeto de passeio ideal para ser implantado em sítio, com ênfase na busca do maior aproveitamento possível das árvores no local de implantação, estabelecendo um percurso que representasse o menor impacto no terreno de implantação da passarela.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados no trabalho estão organizados da seguinte forma: projeto preliminar do sistema estrutural a partir da definição dos materiais, componentes e técnicas construtivas empregadas; modelamento paramétrico configurando prototipagem virtual do sistema estrutural, componentes e sistemas de ligação; projeto executivo do módulo estrutural com a definição do sistema construtivo e dos métodos de execução empregados; projeto executivo de arquitetura, prevendo implantação dos conjuntos modulares suspensos e resoluções técnicas de execução e montagem em canteiro.

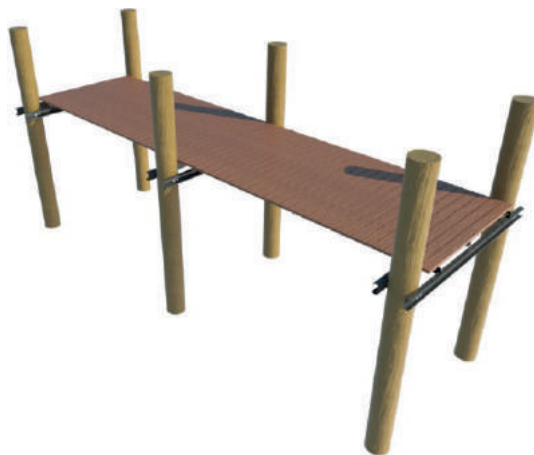
O projeto do sistema estrutural da passarela modular suspensa foi desenvolvido por uma equipe composta por arquitetos, engenheiros, professores e alunos de graduação da UNESP/Bauru/SP. Possui como diretriz arquitetônica a implantação de um conjunto de módulos estruturais de 4,5m² cada, configurando trajeto de passeio em trilha ecológica no Jardim Botânico de Bauru, SP. O programa de necessidades do projeto prevê uma área livre

para passeio de 1,50m de largura, acessível a cadeirantes, idosos e a toda comunidade da cidade de Bauru.

A estrutura da passarela modular suspensa é composta por pórticos de dimensões 3,00m de comprimento por 1,50m de largura, que deverão ser produzidos em um sistema misto de madeira roliça de reflorestamento e perfis metálicos tipo U enrijecidos, fixados no local através de blocos de sapatas com ferros de arranque e brocas pré-fabricadas de concreto armado de 4,50m de profundidade. O tabuleiro de madeira serrada é sustentado por um conjunto de 3 vigas compostas pré-fabricadas em madeira serrada e perfis metálicos tipo U enrijecidos, fixados entre si através de um conjunto de 16 parafusos estruturais ASTM A-325 por viga. O guarda-corpo deste sistema estrutural deverá ser confeccionado com bambus *in natura* através de encaixes bambu-madeira manufaturados do tipo *boca de peixe* e conectados através de barras rosqueadas tipo manufaturadas J.

Apresentação preliminar do módulo estrutural a partir de prototipagem virtual. A figura 6 abaixo ilustra o conjunto de 2 módulos estruturais concebidos preliminarmente, enquanto que as figuras 7a, 7b, 7c, 7d e 7e abaixo ilustram a configuração dos componentes pré-fabricados, definidos em projeto através da modelagem virtual com a utilização do software *Google SketchUp 2017*.

Figura 6. Conjunto de dois módulos estruturais concebidos preliminarmente através do modelamento virtual paramétrico para a definição do sistema construtivo.



Fonte: Autores, 2017.

Figura 7a e 7b – Pilares roliços de madeira de reflorestamento e contra-vigas em perfil metálico tipo U enrijecidos fixados com parafusos estruturais ASTM A-325.



(a)



(b)

Fonte: Autores, 2017.

Figura 7c e 7d – Tabuleiro pré-fabricado de madeira serrada e vigas compostas pré-fabricadas em madeira serrada com perfis metálicos tipo U enrijecidos fixados com parafusos estruturais ASTM A-325 e parafusos auto-atarrachantes.



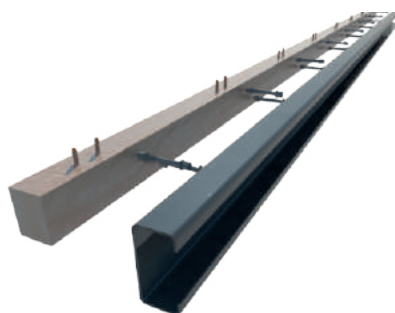
(c)



(d)

Fonte: Autores, 2017.

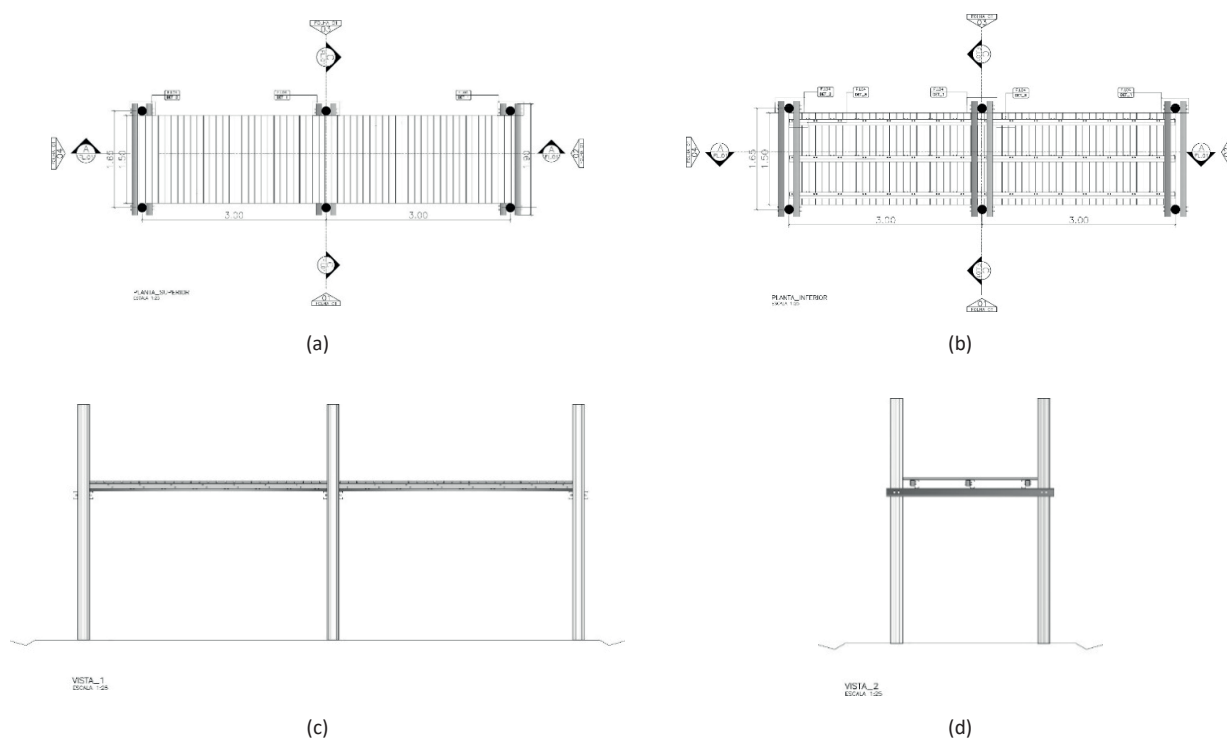
Figura 7e – Configuração de viga composta pré-fabricada: caibro de seção quadrangular 5,00cm x 6,00cm e perfil metálico tipo U enrijecidos compõe o conjunto.



(e)

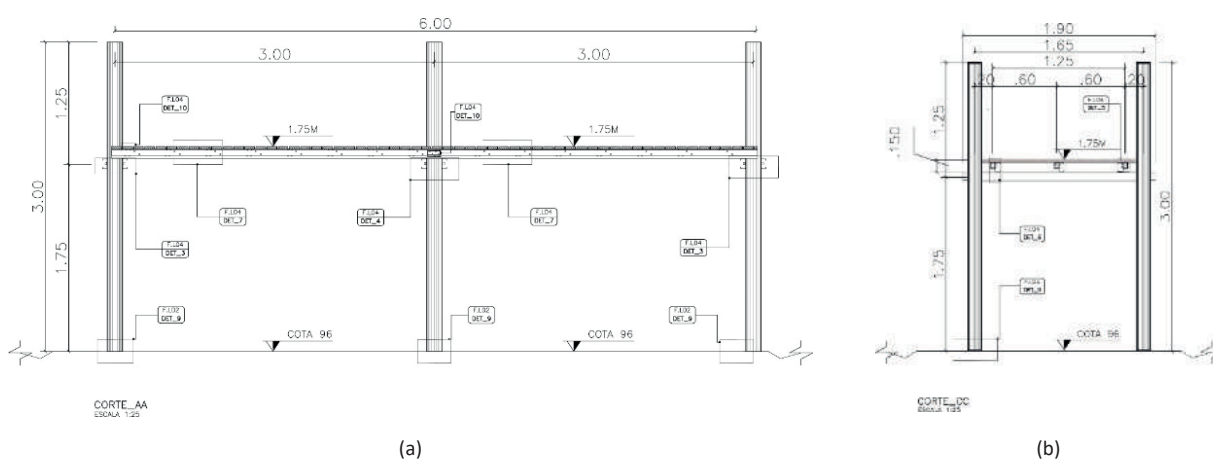
Projeto executivo de módulo estrutural com detalhamento de conexões e interfaces. Após das atividades empregadas nas etapas 01 e 02, a equipe se debruçou na elaboração do projeto executivo dos pórticos e no detalhamento técnico-construtivo do módulo estrutural pré-fabricado. As figuras 8a, 8b, 8c e 8d apresentam o sistema construtivo desenvolvido, através do conjunto de plantas e elevações técnicas.

Figura 8. Plantas superior e inferior do módulo estrutural e vistas lateral e frontal do módulo estrutural com especificações técnicas dos componentes e sistemas a serem detalhados para fabricação. (a), (b), (c) e (d). Fonte: Autores, 2017.

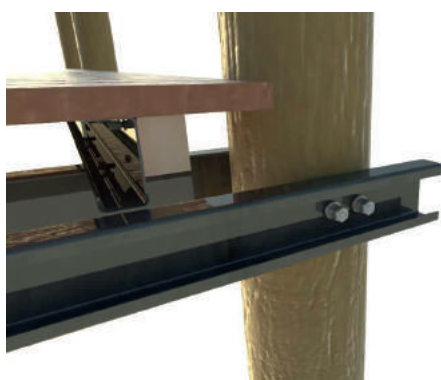


As imagens 9a e 9b apresentam os cortes longitudinal e transversal, respectivamente, com a indicação dos componentes e peças e suas respectivas ligações. É possível observar que as especificações de cada peça como também o código, comprimento e diâmetro.

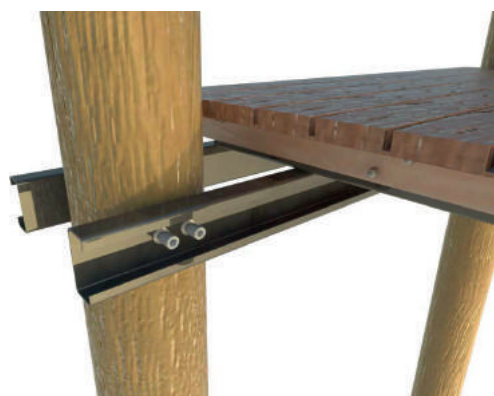
Figura 9. Cortes longitudinal e transversal do módulo estrutural com especificações técnicas dos detalhamentos a serem desenvolvidos para fabricação dos componentes e sistemas. (a) e (b). Fonte: Autores, 2017.



Nota-se que a conexão denominada CVT é a mais complexa do módulo estrutural. Exigiu um grau de detalhamento elevado pela junção de dois elementos estruturais distintos: um pilar de eucalipto de diâmetro 15cm e altura 300cm e dois perfis metálicos tipo U enrijecidos de dimensões 300cm x 10cm x 5cm. As imagens 3D abaixo, denominadas 10a e 10b ilustram a situação descrita:



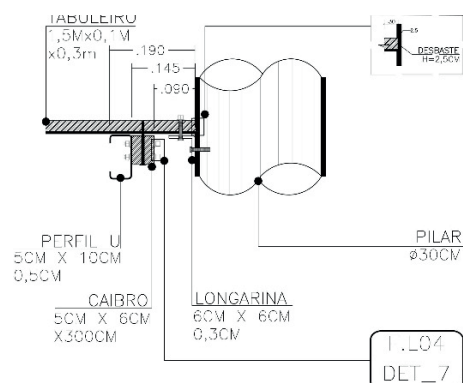
(a)



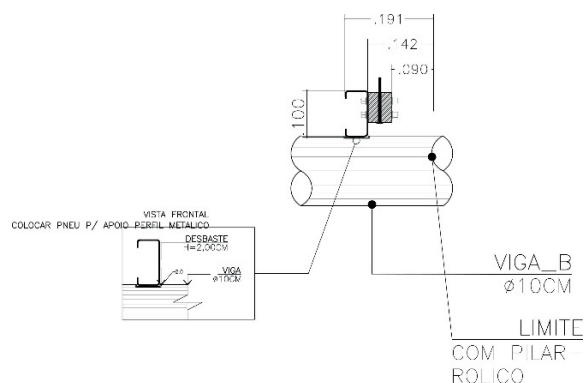
(b)

As figuras 10c e 10d apresentam o detalhamento técnico-constructivo dos componentes estruturais empregados na situação acima:

Figura 10. Protótipo virtual de conexão CVT elaborado a partir de modelagem 3D paramétrica (Figuras 10a e 10b) e detalhamento executivo de conexões estruturais para pré-fabricação (Figuras 10c e 10d). Fonte: Autores, 2017



(c)



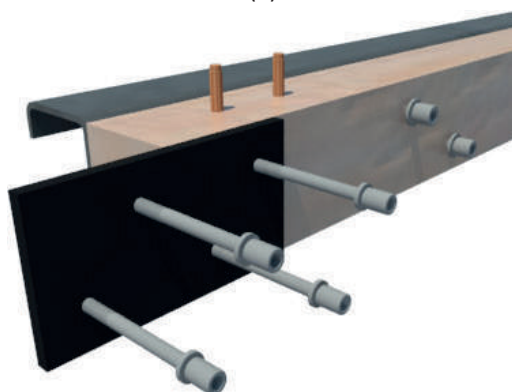
(d)

Outra conexão que exigiu precisão nas etapas de projeto está representada nas figuras 11a, 11b, 11c e 11d. Trata-se de um sistema de vigas mistas desenvolvido para a sustentação dos tabuleiros de madeira. As imagens 11a e 11b ilustram o mecanismo desenvolvido para a conexão dos perfis metálicos aos caibros de madeira serrada, enquanto que as imagens 11c e 11d apresenta o detalhamento técnico-executivo para a fabricação e montagem dos componentes.

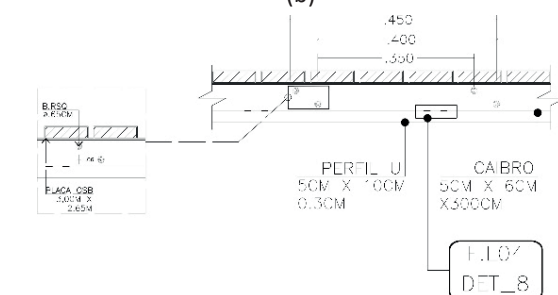
Figura 11. Protótipo virtual de conexão de vigas mistas elaborado a partir de modelagem 3D paramétrica (Figuras 11a e 11b) e detalhamento executivo de conexões estruturais para pré-fabricação (Figuras 11c e 11d). Fonte: Autores, 2017



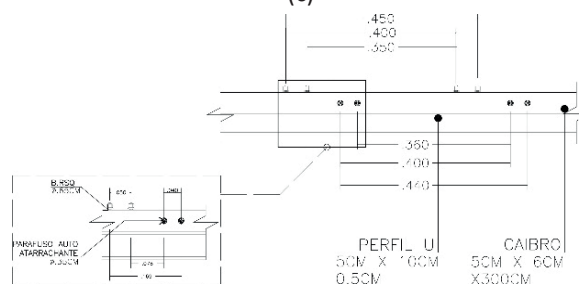
(a)



(b)



(c)



(d)

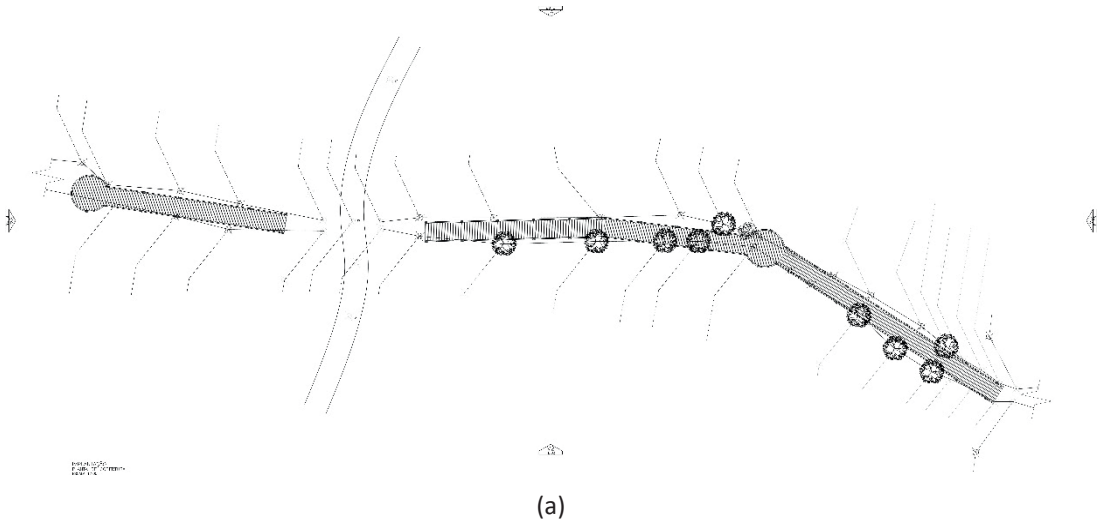
A metodologia empregada para o detalhamento executivo e caracterização das conexões estruturais para o módulo-padrão desenvolvido foi realizada através da utilização do software *AutoCad 2015*, gerando tabelas técnicas e memoriais descritivos dos sistemas de ligação a serem fabricados. A tabela abaixo apresenta o resumo das principais peças e sistemas desenhados para a pré-fabricação do sistema construtivo.

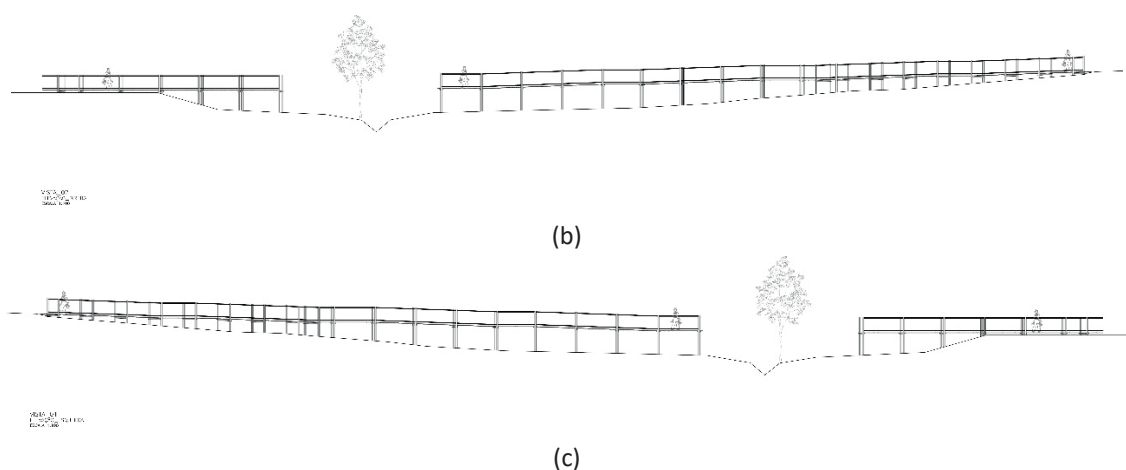
Tabela 1.0. Tabela-Resumo de componentes estruturais pré-fabricados empregados no sistema construtivo modular para implantação de passarela suspensa em trilha ecológica de passeio. Fonte: Autores, 2017

TABELA DE COMPONENTES		
COMPONENTES PRÉ - FABRICADOS	DESCRIÇÃO	ESPECIFICAÇÕES
	Módulo estrutural composto por peças roliças de madeira de reflorestamento, perfis metálicos tipo U enrijecidos, caibros de madeira serrada e chapas de madeira serrada	Módulo estrutural com dimensões 3,00m x 1,50m, sendo respectivamente: 1) Pilares c/ 3,00m de comprimento; 2) Contravigas com 1,60m de comprimento; 3) Viga-composta com 3,00m de comprimento
	Conjunto de pilares de madeira roliça de reflorestamento e contravigas de perfis metálicos tipo U enrijecidos, fixados com parafusos estruturais ASTM A-325	Pilares de madeira roliça de reflorestamento com 3,00m de comprimento e diâmetro de 15cm; Contra-vigas de perfis metálicos tipo U enrijecidos com dimensões 10cm x 5cm x 5cm em chapa 16.
	Conjunto de vigas compostas sustentando tabuleiro de passeio com peças de madeira serrada.	Chapas de madeira serrada com dimensões 150cm x 15cm x 5cm e vigas-compostas com peças de madeira serrada de seção quadrangular de 5cm x 6cm com 3,00m de comprimento e perfis metálicos com 3,00m de comprimento.
	Conjunto de vigas compostas com caibros de madeira serrada com seção de 5cm x 6cm fixados ao perfil metálico tipo U enrijecido através de parafusos ASTM A-325	Vigas-compostas com peças de madeira serrada de seção quadrangular de 5cm x 6cm com 3,00m de comprimento e perfis metálicos com 3,00m de comprimento.

Projeto executivo de arquitetura para implantação. As figuras 12a, 12b e 12c apresentam o conjunto de módulos estruturais reunidos para a implantação da passarela suspensa em sítio. A imagem 12a ilustra a passarela modular implantada em trilha ecológica de passeio, enquanto que as imagens 12b e 12c apresentam as elevações A e B do conjunto estrutural.

Figura 12. Projeto executivo de arquitetura para implantação de passarela modular suspensa. Planta de Cobertura (**Figura 12a**); Elevação esquerda (**Figura 12b**) e Elevação direita (**Figura 12c**). Fonte: Autores, 2017.

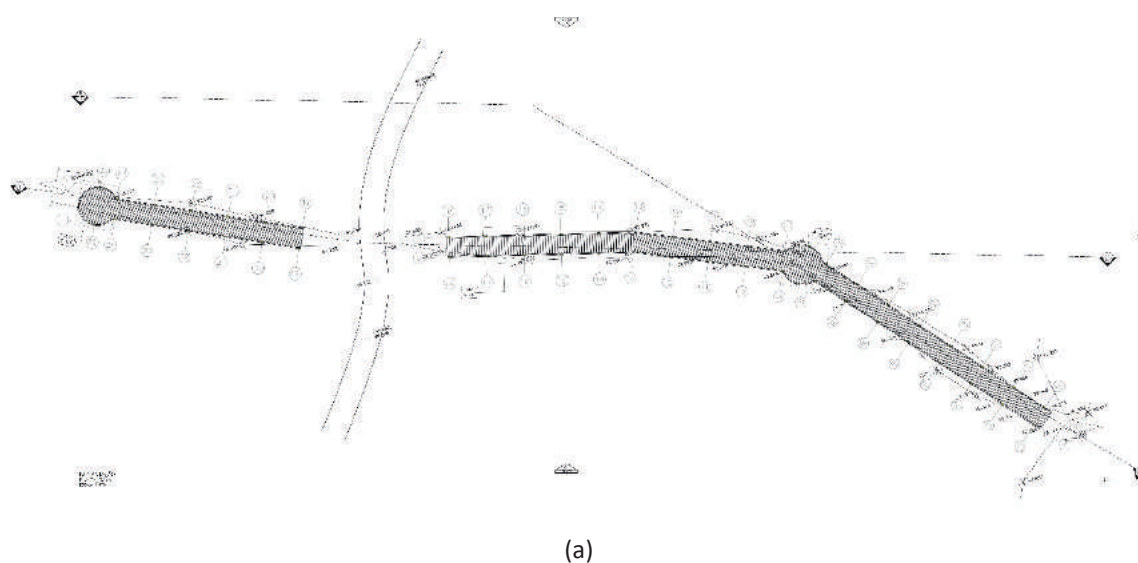


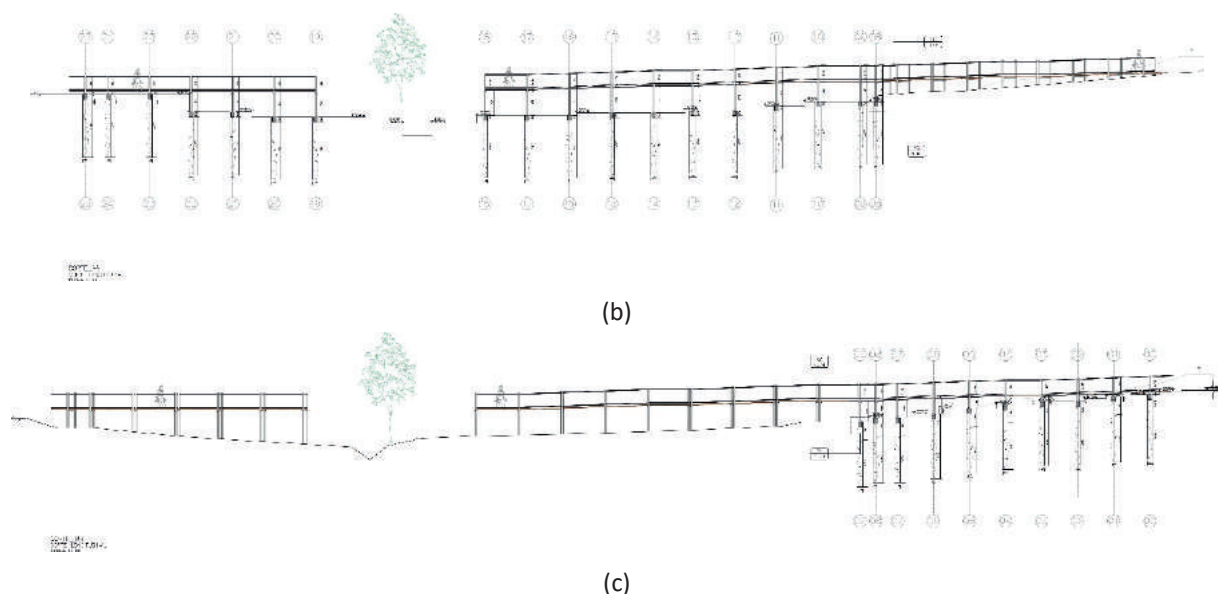


As diretrizes que determinaram a estratégia para a definição do trajeto de implantação da passarela em sítio foram: 1) presença de árvores no local; 2) inclinação dos módulos estruturais, servindo à acessibilidade de toda a comunidade civil Bauruense; 3) implementação de duas rótulas de passeio – a primeira localizada à cerca de 50m do início do trajeto de passeio e a segunda na extremidade esquerda da estrutura - para possibilitar o passeio de deficientes físicos e 4) Quantidade dos apoios e características físicas do solo.

As figuras 13a, 13b e 13c apresentam, respectivamente, a planta-baixa de implantação da passarela em sítio; o corte AA, estabelecendo as diretrizes para o projeto de passeio e para o detalhamento de fundações e o corte BB; investigando as possibilidades formais de implantação do trajeto de passeio ao longo do percurso escolhido. Ambos os desenhos contêm as indicações dos detalhamentos a serem elaborados para a montagem da estrutura em canteiro de obras.

Figura 13. Projeto executivo de arquitetura para implantação de passarela modular suspensa. Planta Baixa (**Figura 13a**); Corte Longitudinal AA (**Figura 13b**) e Corte Longitudinal BB (**Figura 13c**). Fonte: Autores, 2017.





Nota-se que a conexão denominada Fundações (Figuras 14a e 14b) é a mais complexa da estrutura, pois conecta o componente estrutural de madeira roliça às brocas de concreto pré-moldado. Ressaltamos que a extremidade do pilar de Eucalipto Citriodora de 15cm de diâmetro deverá receber uma camada de impermeabilizante para ser implantado em sítio.

Figura 14. Projeto executivo de arquitetura para implantação de passarela modular suspensa. Protótipo virtual de fundação modelado em ambiente 3D. Fonte: Autores, 2017.



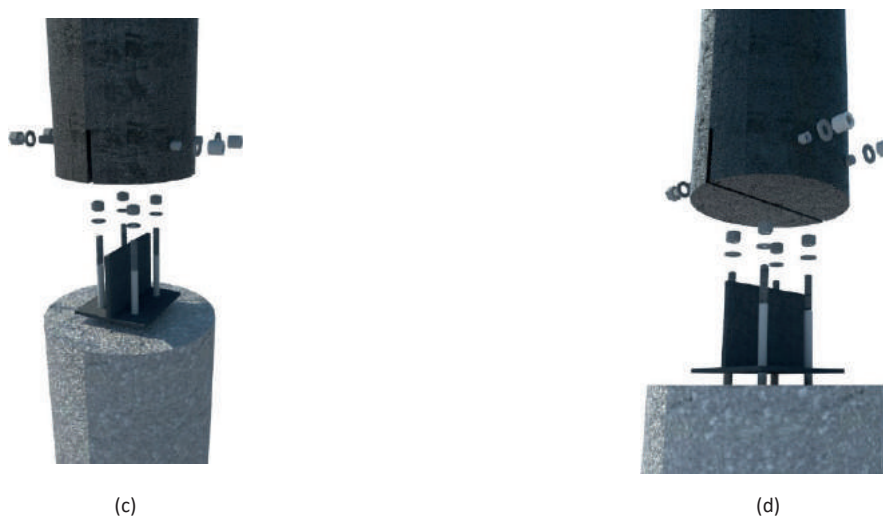
(a)



(b)

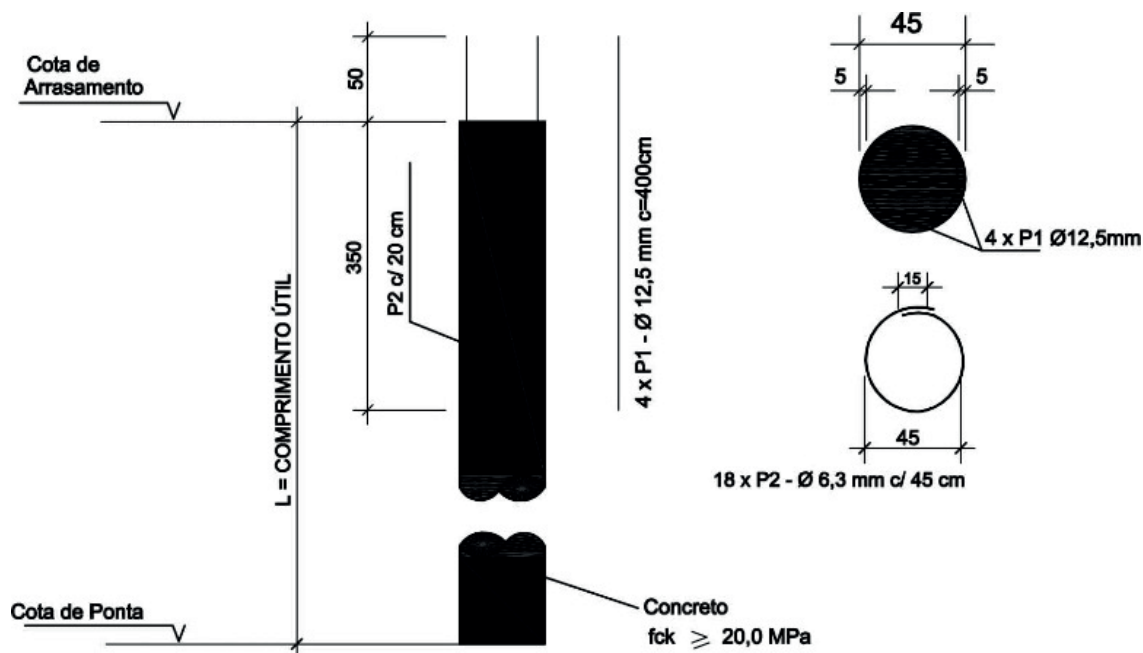
As figuras 15a e 15b apresentam o protótipo virtual da conexão Fundações explodido. A partir das imagens, destacamos o emprego de chapas complementares com 6mm de espessura para conexão do pilar roliço de madeira às brocas de concreto armado pré-moldado. O projeto da conexão estrutural em aço carbono seguiu as diretrizes apontadas pela NBR 8800 – Projeto e Execução de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço-Concreto nos edifícios.

Figura 15. Projeto executivo de arquitetura para implantação de passarela modular suspensa. Protótipo virtual explodido de fundação modelado em ambiente 3D. Fonte: Autores, 2017.



Como parte do resgate aos processos de projeto, a figura 16 ilustra o detalhamento técnico-construtivo das brocas estruturais pré-moldadas:

Figura 16. Projeto executivo de arquitetura para implantação de passarela modular suspensa. Projeto executivo de brocas de concreto armado para a pré-moldagem realizado em ambiente 2D. Fonte: Autores, 2017.



DETALHE_TÍPICO
BROCA_PRÉ_MOLDADA
ESCALA 1:15

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho procurou-se descrever de forma sistemática a atividade projetiva, as etapas de elaboração, desenvolvimento e a metodologia de identificação e caracterização de conexões estruturais e implantação elaborados madeira de reflorestamento e com perfis metálicos estruturais tipo U enrijecidos para o sistema estrutural de passarela modular suspensa apresentada neste trabalho, que deverá ser implantada na cidade de Bauru, São Paulo, Brasil. Como conclusões, podemos apontar que a viabilidade da produção de componentes estruturais pré-fabricados dependem fundamentalmente de três aspectos:

1. Planejamento detalhado da cadeia produtiva da edificação ou do sistema estrutural, desde as etapas de colheita, tratamento e preparação de infraestrutura da unidade de pré-fabricação e planejamento da etapa de montagem em canteiro de obra;
2. Elaboração do projeto executivo detalhado com peças gráficas de produção com a especificação de todas as peças, ligações e interfaces, somadas a elaboração de modelos virtuais renderizados das conexões, componentes e elementos estruturais e de vedação.
3. Orientação da mão de obra de carpintaria e acompanhamento técnico nas etapas de préfabrição e canteiro de obra;

No que se refere aos resultados sobre o resgate da atividade projetiva, objetos deste artigo, analisamos que:

- A conexão que demanda maior atenção nas etapas futuras de fabricação/execução e/ou montagem é a conexão denominada Fundações, apresentadas nas figuras 14a e 14b e nas imagens 15a e 15b.
- A concepção modular do projeto tem como objetivo permitir a produção dos tabuleiros de madeira serrada em unidade de pré-fabricação.
- Devido ao elevado nível de água no solo, se faz necessária a execução de uma vala de escoamento de água para a escavação mecânica do solo, podendo assim receber as estacas (brocas) pré-moldadas de concreto armado sem interferência no seu comportamento estrutural.

■ REFERÊNCIAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190 - **Projeto de estruturas de madeira**. RJ, 1997.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8457 - **Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica** – Padronização. RJ, 1984.
3. BARBOSA, J. C. **Caracterização e avaliação do fluxo produtivo de habitação em madeira de plantios florestais segundo indicadores de sustentabilidade** - Consumo de energia e resíduos gerados. 2003. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
4. BRITO, Leandro Dussarrat. **Recomendações para o Projeto e Construção de Estruturas com Peças Roliças de Madeira de Reflorestamento**. (2010). Dissertação (Mestrado)– Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
5. CALIL & BRITO. **Manual de projeto e construção de estruturas com madeira roliça de reflorestamento**. São Carlos: Suprema, 2008.
6. CALIL, C. Jr.; et al. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006.
7. ENGEL, H. **Sistemas de Estructuras**. 1ª Ed. Impresso em Espanha, 1967.
8. MELHADO, S. B. **Desenvolvimento e planejamento de projeto para produção**. 1992. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

SOBRE O ORGANIZADOR

Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves

Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, campus Alegre (1989). Engenheiro Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (1998). Especialização em Mudanças Globais e Desenvolvimento Sustentável pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (1999). Mestrado em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (2006). Possui graduação em Formação Pedagógica com habilitação em Ciências Florestais pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba (2008). Doutorado em Ciências pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (2012). É Professor Associado I do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da UFES. Desenvolve trabalhos nas seguintes áreas: Painéis a partir de materiais lignocelulósicos; Taninos para uso em adesivos; Elementos laminados colados; Propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas da madeira; Biodeterioração em painéis. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0616694853822879>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adesivo: 19, 59, 69

Aproveitamento de Costaneira: 12

Aproveitamento de Resíduos: 50, 57, 89

B

Barton: 113, 115

Bioenergia: 268, 284, 285

C

Carya Illinoensis: 113, 114, 115, 124

Cavilhas: 331, 332

Cedrinho: 72, 80, 81

Celulose: 101, 107, 109, 110

Ciclo de Vida: 50

Cisalhamento: 136, 146

Compressão: 104, 150, 339

Corthylus: 113, 117, 121, 123

Corymbia Citriodora: 11, 12, 14, 15, 23, 188, 192, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 347

D

Dendroenergia: 268

Densidade: 78, 104, 105, 133, 134, 146, 150, 153, 162, 164, 166, 169, 204, 210, 211, 248, 249, 250, 273, 284, 312, 315

E

Eficiencia de Conexión: 173

Embutimento: 318

Energias Renováveis: 268

Eucalipto: 26, 70, 137, 187, 207, 209, 210, 226,

230, 231, 232, 233, 234, 235, 346, 347, 350, 351, 352, 361

Eucalyptus: 26, 29, 30, 45, 116, 121, 123, 124, 133, 137, 147, 148, 171, 188, 189, 192, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 206, 215, 217, 218, 222, 239, 253, 255, 256, 257, 263, 265, 267, 268, 270, 271, 278, 280, 282, 283, 284, 285, 313, 314, 315

F

Flexão: 104, 150, 250

Florestas Energéticas: 268

G

Guapuruvu: 244

H

Hemicelulose: 101, 107, 109, 110

I

Indústria Madeireira: 50

Insetos Broqueadores: 113

Instrumentos Musicais: 159

L

Lignina: 101, 106, 107, 109, 110, 226

M

Madeira: 24, 50, 55, 57, 59, 60, 61, 63, 69, 70, 72, 99, 102, 104, 105, 111, 134, 137, 148, 150, 159, 169, 180, 218, 239, 241, 256, 272, 273, 274, 281, 283, 306, 315, 316, 320, 333, 334, 335, 338, 342, 351, 364

Madeira Nativa: 72, 159

Madeira Serrada: 50

Mecânicas: 104, 109

Microscopia Ótica: 59

N

Nanotecnologia: 220

Normalização: 318

P

Painéis de Madeira: 12, 148, 240

Painel de Madeira: 244

Patologia: 26

Pequenos Objetos de Madeira: 306

Permeabilidade: 188

Perú: 286, 287, 288, 289, 292, 302, 303, 304

Pinus: 59, 62, 63, 65, 66, 67, 121, 124, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 146, 180, 212, 222, 225, 226, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 251, 253, 256, 270, 275, 278, 280, 283, 284, 285, 313, 315, 318, 324, 326, 328, 331, 332, 334, 339, 350, 351, 352

Plano de Corte: 136

Polivinil Acetato: 136

Porosidade: 101, 109

Preservação de Madeiras: 201

Processo Projetivo: 344

Propriedades Acústicas da Madeira: 159

Propriedades Físico: 101, 104

Propriedades Mecânicas: 204, 244

Q

Qualidade da Madeira: 253

R

Resaw: 255, 266

Resíduo de Madeira: 12

Resíduo Lignocelulósico: 204

Resíduos de Madeira: 24, 50

Resistência: 104, 105, 136, 147, 148, 155, 156, 163, 165, 167, 185, 225, 249, 251, 317, 318,

323, 330

Retenção e Penetração: 202

S

Sawmilling: 255

Scolytinae: 113, 114, 115, 117, 123, 124, 125

Sistema Construtivo: 26

Sistema Construtivo Híbrido: 26

Sustentabilidade: 26, 348

T

Tamanho de Partícula: 204

Tração Normal: 104, 136

V

Valorização de Resíduos: 306

Vedações: 26, 33



follow us



www.editoracientifica.org

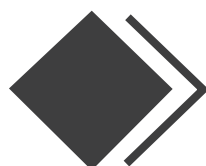
contato@editoracientifica.org



ISBN 978-658719662-6



9



editora científica