

**WELLITON LELIS CÂNDIDO**

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS *CROSS LAMINATED TIMBER*  
(CLT) PRODUZIDOS COM MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var.  
*amazonicum* Huber ex Ducke) TRATADA COM TIMOL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Benedito Rocha Vital

Coorientadora: Angélica de Cássia O. Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

C217c  
2023

Cândido, Welliton Lelis, 1993-

Características tecnológicas de painéis *Cross Laminated Timber* (CLT) produzidos com madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) tratada com timol / Welliton Lelis Cândido. – Viçosa, MG, 2023.

1 tese eletrônica (103 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Benedito Rocha Vital.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Florestal, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.189>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Lâminas de madeira. 2. Construção civil. 3. Madeira -  
Proteção. 4. Essências e óleos essenciais. 5. Madeira -  
Propriedades mecânicas. I. Vital, Benedito Rocha, 1946-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Florestal. Doutorado em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9832286

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

WELLITON LELIS CÂNDIDO

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS *CROSS LAMINATED TIMBER*  
(CLT) PRODUZIDOS COM MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var.  
*amazonicum* Huber ex Ducke) TRATADA COM TIMOL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 16 de janeiro de 2023.

Assentimento:



---

Welliton Lelis Cândido

Autor



---

Benedito Rocha Vital

Orientador

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho.

Aos meus pais, José Silvestre e Eliana, aos meus irmãos, Gilberto e Eriberto, por todo carinho e incentivo nos estudos.

À minha namorada Êmilly, por todo amor, companheirismo e apoio.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela oportunidade de cursar o doutorado e por tudo que foi proporcionado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Benedito Rocha Vital pela amizade, ensinamentos e pela confiança durante todos esses anos.

À Professora Angélica de Cassia Oliveira Carneiro por ter auxiliado em minha carreira acadêmica e pessoal.

Aos Professores Juarez Benigno Paes, Marcos Oliveira de Paula e Vinícius de Castro Rezende, pela orientação, amizade e contribuições.

Aos funcionários Eder Cabral de Sousa e Francisco Ricardo Bizerra, pela disponibilidade e ajuda durante a realização do experimento.

À Professora Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho que foi minha primeira orientadora na UFV e sempre me apoiou.

Aos amigos e funcionários dos Laboratórios de Painéis e Energia da Madeira e Propriedades da Madeira, que contribuíram de alguma forma para o sucesso deste trabalho. Especialmente aos funcionários Bráulio, Edna, Fernanda, Lawrence, Leila e Wellington que auxiliaram nas análises.

Aos estagiários que fizeram parte deste projeto, especialmente a Gabriela.

Às empresas Jowat do Brasil Ltda e Grupo Arboris, pelo fornecimento dos insumos sem os quais este trabalho não seria possível.

Ao Laboratório de Celulose e Papel por ceder as instalações para o tratamento da madeira, especialmente ao funcionário “Carlinhos”.

A todos os colaboradores do Laboratório de Biodeterioração e Proteção da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, especialmente a Fernanda Dalfiôr Maffioletti.

## RESUMO

CÂNDIDO, Welliton Lelis, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2023. **Características tecnológicas de painéis *Cross Laminated Timber* (CLT) produzidos com madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) tratada com timol.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Coorientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

*Cross Laminated Timber* (CLT) é um produto de madeira engenheirada consistindo em camadas de lamelas de madeira coladas transversalmente umas às outras, formando entre si um ângulo de 90°. Este produto tem se destacado na construção civil pelo desempenho estrutural, pré-fabricação, eficiência na construção, pela redução dos resíduos, menor tempo de construção, além de ser sustentável com capacidade de estocagem de CO<sub>2</sub>. Nesse contexto, o presente trabalho foi estruturado em três capítulos, o primeiro é uma revisão bibliográfica. No segundo foi avaliado o potencial de utilização do timol no tratamento da madeira de paricá. Determinado as propriedades físicas e químicas da madeira de paricá tratada com soluções à base timol nas concentrações de 1, 3 ou 5%, pelos métodos de pincelamento, difusão e pressão. A efetividade do timol foi avaliada pelos ensaios de resistência à biodeterioração por cupim de madeira seca (*C. brevis*), fungo de podridão branca (*T. versicolor*) e fungo de podridão parda (*G. trabeum*). Também foi realizado o ensaio de envelhecimento acelerado nas amostras de madeira de paricá tratadas com soluções à base de timol, *in natura* e tratadas com CCA tipo C. No terceiro foram produzidos painéis CLT com madeira de paricá tratada com soluções à base de timol, e avaliada as propriedades físicas e mecânicas da madeira tratada e dos painéis CLT produzidos. As propriedades mecânicas dos painéis produzidos foram comparados aos valores da aprovação técnica europeia ETA. De modo geral, o timol afetou as propriedades físicas da madeira, porém não interferiu nas propriedades mecânicas. Os tratamentos de difusão e pressão com concentração de 3 e 5% de timol foram eficientes no combate de cupim de madeira seca. O timol foi eficiente no combate dos fungos de podridão branca e parda. Houve perda de timol por volatilização e lixiviação no ensaio de envelhecimento acelerado. A baixa densidade da madeira de paricá influenciou negativamente nas propriedades de resistência mecânica dos painéis CLT e nas propriedades de adesão do adesivo. Os valores obtidos das propriedades mecânicas de compressão normal às fibras e módulo de elasticidade transversal dos painéis atenderam aos requisitos da ETA.

Palavras-chave: Preservante. Óleo essencial. Construção civil.

## ABSTRACT

CÂNDIDO, Welliton Lelis, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2023. **Properties of Cross Laminated Timber panels produced with paricá wood (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) treated with thymol.** Advisor: Benedito Rocha Vital. Co-advisor: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

Cross Laminated Timber (CLT) is an engineered wood product consisting of layers of wood lamellas glued transversely to each other, forming a 90° angle to each other. This product has stood out in civil construction for its structural performance, prefabrication, construction efficiency, due to the reduction of waste, shorter construction time, in addition to being sustainable with the capacity to store CO<sub>2</sub>. In this context, the present work was structured in three chapters, the first is a bibliographic review. In the second, the potential use of thymol in the treatment of paricá wood was evaluated. Determining the physical and chemical properties of paricá wood treated with thymol-based solutions at concentrations of 1, 3 or 5%, through brushing, diffusion and pressure methods. The effectiveness of thymol was evaluated through its resistance to biodeterioration by drywood termites (*C. brevis*), white rot fungus (*T. versicolor*) and brown rot fungus (*G. trabeum*). The accelerated aging test was also carried out on samples of paricá wood treated with thymol, in natura and treated with CCA. In the third, CLT panels were produced with paricá wood treated with thymol, and the physical and mechanical properties of the treated wood and the CLT panels produced were evaluated. The mechanical properties of the panels produced were compared to the values of the European technical approval ETA 06/0138 (2017). In general, thymol affected the physical properties of the wood, but did not interfere with the mechanical properties. Diffusion and pressure treatments with thymol concentrations of 3 and 5% were effective in combating drywood termites. Thymol was efficient in combating white and brown rot fungi. There was loss of thymol by volatilization and leaching in the accelerated aging test. The low density of parica wood had a negative influence on the mechanical resistance properties of the CLT panels and on the adhesion properties of the adhesive. The values obtained for the mechanical properties of normal compression to the fibers and transverse modulus of elasticity of the panels met the requirements of ETA 06/0138, (2017).

Keywords: Preservative. Essential oil. Construction.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	8
REFERÊNCIAS .....	10
CAPÍTULO I.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. PARICÁ ( <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> Huber ex Ducke) .....	15
3. <i>CROSS LAMINATED TIMBER</i> (CLT).....	18
4. TRATAMENTOS PRESERVATIVOS DE MADEIRA .....	24
5. TIMOL .....	27
6. REFERÊNCIAS .....	30
CAPÍTULO II.....	39
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. OBJETIVOS.....	41
2.1. Geral.....	41
2.2. Específicos .....	41
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1. Madeira .....	42
3.2. Tratamentos preservativos de madeira de paricá .....	43
3.2.1.Tratamento da madeira de paricá por pincelamento.....	44
3.2.2.Pré-tratamento com vapor, seguido de difusão prolongada .....	44
3.2.3.Tratamento da madeira de paricá com pressão a quente .....	44
3.3. Ensaio de resistência à deterioração por cupim de madeira seca .....	45
3.4. Ensaio de atividade fúngica do timol <i>in vitro</i> .....	46
3.5. Ensaio de envelhecimento acelerado .....	47
3.6. Propriedades da madeira de paricá.....	48
3.7. Propriedades do Timol .....	50
3.8. Delineamento experimental .....	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.1. Propriedades da madeira <i>in natura</i> e tratada.....	51
4.2. Propriedades do timol .....	55
4.2.1.Espectroscopia FTIR .....	55
4.2.2.Espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN).....	56
4.2.3.Espectro de massas (CG-EM) para o timol .....	57
4.3. Ensaio biológicos.....	58
4.3.1.Ensaio de resistência a térmitas .....	58
4.3.2.Ensaio de resistência fúngica.....	62
4.4. Resistência ao intemperismo.....	64
5. CONCLUSÕES .....	66
6. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS .....	67
7. REFERÊNCIAS .....	67
CAPÍTULO III .....	73
1. INTRODUÇÃO.....	74
2. OBJETIVOS.....	75
2.1. Geral.....	75
2.2. Específicos .....	76
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	76
3.1. Materiais.....	76
3.1.1.Madeira.....	76

3.1.2. Adesivo.....	77
3.2. Tratamento da madeira.....	77
3.3. Caracterização da madeira de paricá <i>in natura</i> e tratada com timol .....	78
3.3.1. Propriedades físicas .....	78
3.3.2. Propriedades mecânicas.....	79
3.4. Produção dos painéis CLT .....	79
3.5. Caracterização dos painéis CLT.....	81
3.5.1. Ensaio de flexão transversal e longitudinal .....	81
3.5.2. Ensaio de compressão.....	83
3.5.3. Cisalhamento na linha de cola .....	83
3.5.4. Densidade aparente.....	84
3.6. Delineamento experimental .....	85
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	85
4.1. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá .....	85
4.2. Propriedade física e mecânicas de CLT de madeira de paricá.....	87
4.2.1. Densidade aparente dos painéis CLT .....	87
4.2.2. Propriedades mecânicas dos painéis CLT .....	88
4.3. Modo de ruptura dos painéis CLT .....	92
4.4. Comparação dos resultados com os valores explicitados na aprovação técnica (ETA 06/0138, 2017).....	96
5. CONCLUSÕES.....	98
6. REFERÊNCIAS .....	98

## INTRODUÇÃO GERAL

A madeira é um dos materiais construtivos mais antigos utilizados em construções, sua eficácia está relacionada as suas propriedades físico-mecânicas, estéticas, trabalhabilidade, além de ser relativamente leve para os altos valores de densidade. Além disso, quando devidamente cultivada e manejada, a sua produção é mais sustentável, renovável e de custo relativamente menor, se comparado a materiais tradicionalmente utilizados na construção (SILVA, 2019). A utilização da madeira na construção civil, entretanto, ainda é inferior se comparados à materiais, como aço, concreto e tijolos. Dentre as dificuldades que restringem a expansão da utilização da madeira, tem-se a baixa estabilidade dimensional, a susceptibilidade ao ataque de organismos xilófagos e resistência mecânica insatisfatórias para usos que requerem elevado desempenho estrutural (BAMI e MOHEBBY, 2011).

Como alternativas para a melhoria das propriedades físico-mecânicas da madeira são utilizados produtos engenheirados de madeira, como por exemplo, os painéis compensados (*Plywood*), os laminados unidirecionais (*Longitudinal Veneer Lumber - LVL*), a madeira lamelada colada (*Glulam*), painéis de partículas de média densidade (*Medium Density Particleboard - MDP*), painéis de fibra de média densidade (*Medium Density Fibreboard - MDF*) e painéis de partículas orientadas (*Oriented Strand Board - OSB*) (ECKER, 2017). Além destes, o painel de madeira laminada colada cruzada (*Cross Laminated Timber - CLT*) vem ganhando destaque no cenário mundial (ALMEIDA et al., 2022).

A popularização do CLT ocorreu principalmente pela facilidade de produção, otimização da matéria-prima, montagem rápida, fácil conexão entre peças e processo produtivo automatizado. Condição que levou o sistema construtivo a difundir-se com facilidade pelos países da Europa Central, Japão, Nova Zelândia, Austrália, Canadá e Estados Unidos (CARETA; VIAL, 2018). Além disso, por causa das propriedades da madeira, é um produto com bom isolamento térmico e acústico, além de contribuir com o desenvolvimento sustentável, por ser produzido por material de origem renovável e por promover construções com menor geração de resíduos (EROL KARACABEYLI e BRAD DOUGLAS, 2013).

A maior parte do CLT comercializado no mundo é fabricado com madeiras de coníferas, especificamente do gênero *Pinus* (LLANA et al., 2022). Pela carência de estudos com utilização de madeira de folhosas, é necessário portanto, desenvolver pesquisas para avaliar o potencial de outras espécies florestais, principalmente folhosas de rápido crescimento para produção de CLT (ESPINOZA; BUEHLMANN, 2018). No Brasil existem espécies potenciais para a produção do CLT, a exemplo, o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex

Ducke), uma espécie nativa da Amazônia, de rápido crescimento, fuste retilíneo e com pouca incidência de nós (SALES, 2018).

Porém, além das propriedades citadas, deve ser considerada a sua baixa resistência natural à deterioração (OLIVEIRA, 2018). E, pelas condições de exposição ao qual o painel CLT pode ser submetido, por exemplo, a condições de umidade e radiação solar. Estes ambientes podem favorecer o ataque de organismos xilófagos, sendo necessário que a madeira seja impregnada com produtos químicos, como por exemplo, o arseniato de cobre cromatado (CCA) e borato de cobre cromatado (CCB), cuja função é conferir maior resistência biológica ao material tratado (LIMA, 2021).

Apesar da eficiência da preservação de madeiras, os produtos químicos utilizados têm como desvantagem a alta toxicidade aos seres humanos e ao meio ambiente, pela presença de elementos carcinogênicos, como o arsênio e cromo em suas composições (FERRARINI et al., 2012; VIVIAN et al., 2020). Como alternativa a essas substâncias químicas, compostos de origem natural podem ser utilizados para tratar madeiras não duráveis (SILVEIRA et al., 2017; MISSIO, 2019).

Dentre estas substâncias destaca-se o timol (2-isopropil-5-metilfenol), um componente fenólico com propriedades biocidas presente em óleos essenciais de diversas espécies vegetais, como, o tomilho (*Thymus vulgaris*), orégano (*Origanum vulgare*) e alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*) (LICATA et al. 2015; MANCINI et al., 2015). Diversas pesquisas têm relatado sobre as propriedades do timol contra microrganismos, especialmente fungos e bactérias (MATTOS et al., 2018; SOARES, 2018; ESCOBAR, 2020).

Desse modo, pesquisas que possam identificar alternativas na utilização de madeira de paricá, bem como, desenvolver metodologias de tratamento da madeira utilizando produtos com menor toxicidade ao ser humano e ao meio ambiente são propostas para incentivar cada vez mais a utilização da madeira no setor de construção civil. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do timol no tratamento preservativo de madeira de paricá. Além disso, produzir e caracterizar painéis CLT de madeira de paricá. Para isto, a tese foi estruturada em três capítulos, conforme descritos a seguir.

Capítulo 1: Uma revisão bibliográfica sobre os principais temas abordados nesta pesquisa.

Capítulo 2: Tratamento preservativo de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) utilizando soluções à base de timol.

Capítulo 3: Produção e caracterização mecânica de painéis *Cross Laminated Timber* (CLT) de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke).

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C.; HIROSAWA, L. J.; MARIANO, M. I.; SILVA, D. R. Panorama internacional e nacional do uso e aplicação do sistema construtivo *Cross Laminated Timber* – CLT. **Conjecturas**, v.22, n.13, 2022.
- BAMI, L.K.; MOHEBBY, B. Bioresistance of poplar wood compressed by combined hydrothermo-mechanical wood modification (CHTM): Soft rot and brown-rot. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 65, p. 866-870, 2011.
- CARETA, S. A.; VIAL, R. M. Construções em CLT: o uso da madeira na construção civil como elemento sustentável. **Angewandte Chemie International Edition**, v.6, n.11, p.10-27, 2018.
- ECKER, T.W.P. **Produção e caracterização mecânica de painéis de *Cross Laminated Timber* (CLT) para aplicação como placas de piso**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2017.
- EROL KARACABEYLI, P.E.; BRAD DOUGLAS, P.E. **CLT Handbook Cross-Laminated Timber**. U.S. Edition. Department of Agriculture, Forest Service, Forest. Library and Archives Canada Cataloguing in Publication, 2013, 572 p.
- ESCOBAR, A.; PÉREZ, M.; ROMANELLI, G.; BLUSTEINB, G. Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. **Arabian Journal of Chemistry**, v.13, p.9243-9269, 2020.
- ESPINOZA, O.; BUEHLMANN, U. Cross-Laminated Timber in the USA: Opportunity for Hardwoods?. **Current Forestry Reports**, v.4, p.1-12, 2018.
- FERRARINI, S. F.; SANTOS, H. S. D.; MIRANDA, L. G.; AZEVEDO, C.; PIRES, M. J.; MAIA, S. M. Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos à base de arseniato de cobre cromatado e de boro/flúor. **Química Nova**, v. 35 n. 9, p. 1767-1771, 2012.
- LICATA, M.; TUTTOLOMONDO, T.; DUGO, G.; RUBERTO, G.; LETO, C.; NAPOLI, E. M.; RANDO, R.; RITA FEDE, M.; VIRGA, G.; LEONE, R. Study of quantitative and qualitative variations in essential oils of *Sicilian oregano* biotypes. **Journal of Essential Oil Research**, v.27, p.293-306, 2015.
- LIMA, N. N. **Extratos tânicos como preservativo para madeira termodensificada de pinus**. 2021. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2021.
- LLANA, D. F.; G-ALEGRE, V.; PORTELA, M.; I-GONZALEZ, G. Cross Laminated Timber (CLT) manufactured with European oak recovered from demolition: Structural properties and non-destructive evaluation. **Construction and Building Materials**, v.339, p.27635, 2022.
- MANCINI, E.; SENATORE, F.; DEL MONTE, D.; DE MARTINO, L.; GRULOVA, D.; SCOGNAMIGLIO, M.; SNOUSSI, M.; DE FEO, V. Studies on chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of five *Thymus vulgaris* L. essential oils. **Molecules**, v.20, p.12016-12028, 2015.

MATTOS, B. D.; TARDY, B.L.; PEZMAN, M.; KAMARAINEN, T.; LINDER, M.; SCHREINER, W.H.; MAGALHÃES, W.L.E.; ROJAS, O.J. Controlled biocide release from hierarchically-structured biogenic sílica: surface chemistry to tune release rate and responsiveness. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

MISSIO, A. L.; GATTO, D. A.; TONDI, G. Exploring tannin extracts: Introduction to new bio-based materials. **Revista Ciência da Madeira**, v. 10, n.1, 2019.

OLIVEIRA, G. L. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho - Recomendações para o processo de projeto arquitetônico**. 2018. 194 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2018.

SALES, A. **Análise técnica e econômica do cultivo de paricá em sistema agrissilvicultural**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

SILVA, C. M. S. **Pré-hidrólise e densificação termomecânica da madeira de pinus**. 2019. 72 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

SILVEIRA, A. G.; SANTINI, E. J.; KULCZYNSKI, S. M.; TREVISAN, R.; WASTOWSKI, A. D.; GATTO, D. A. Tannic extract potential as natural wood preservative of *Acacia mearnsii*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 3031-3038, 2017.

SOARES, A.K. **Aplicação de lignina kraft para estabilização de um sistema biocida baseado em timol**. 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.

VIVIAN, M. A.; GROSSKOPF, É. J.; NUNES, G. C.; ITAKO, A. T.; MODES, K. S. Qualidade e eficiência de produtos naturais no tratamento preservativo das madeiras de *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus viminalis* e *Pinus taeda*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 35-47, 2020.

## CAPÍTULO I

### **PROPRIEDADES DE PAINÉIS DE *CROSS LAMINATED TIMBER* (CLT) FABRICADOS COM MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) TRATADA COM TIMOL**

**Resumo** - O paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) é uma espécie florestal tropical que possui crescimento acelerado, tronco com pouca incidência de nós e fuste comercial retilíneo, e estas características, têm despertado interesse em diversos setores, principalmente na produção de painéis, como *Laminated Veneer Lumber* (LVL), painéis de partículas de média densidade (MDP), painéis de fibras de média densidade (MDF), painéis de partículas orientadas (OSB) e madeira laminada colada (MLC). Além destes produtos, o paricá tem potencial para utilização na indústria de painéis de *Cross Laminated Timber* (CLT). CLT é um painel pré-fabricado e constituído por camadas de lamelas de madeira coladas ortogonalmente, podendo variar de 3 a 9 camadas, que se destaca na indústria de construção global. Este tipo de painel pode ser empregado como lajes, piso ou cobertura, vedações internas ou externas, com ou sem função estrutural. Um das grandes vantagens deste painel é a disposição das lamelas de madeira de forma cruzada conferindo maior rigidez à estrutura. Contudo, pelas condições em que pode ser exposto e a sua constituição biológica, o CLT pode ficar susceptível as intempéries (radiação solar, ventos e chuva) e principalmente aos agentes biodeterioradores (fungos, cupins e besouros). Atualmente dentre os produtos químicos utilizados na preservação da madeira para a produção do CLT, tem-se o arseniato de cobre cromatado (CCA) e o borato de cobre cromatado (CCB). Porém, estes produtos químicos preservantes têm como desvantagem a alta toxicidade aos seres humanos e ao meio ambiente devido à presença de elementos carcinogênicos, como o arsênio e cromo em suas composições. Diante da necessidade em desenvolver alternativas ambientalmente corretas de preservação, os óleos essenciais são uma opção, e dentre eles destaca-se o timol. Timol é um óleo essencial extraído de diversas espécies vegetais, como o tomilho, orégano e o alecrim-pimenta, e pelas suas propriedades antifúngicas, antibióticas, antitérmicas e inseticida, vem se destacando como um promissor biocida natural.

**Palavras-chave:** Meio ambiente. Biodeterioração. Preservação.

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2021, a área total de árvores plantadas no Brasil foi de 9,93 milhões de hectares e dentre as espécies cultivadas, 75,8% da área é composta pelo cultivo de eucalipto, com 7,53 milhões de hectares, e 19,4% de pinus, com aproximadamente 1,93 milhão de hectares. Além desses cultivos, existem cerca de 475 mil hectares plantados de outras espécies, destacando a seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2022). O paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), é a espécie nativa mais cultivada da Amazônia. A madeira é apropriada para diversas indústrias, principalmente de laminação para a produção do compensado, devido à baixa incidência de nós no tronco, o rápido crescimento em altura e diâmetro, possibilitando a sua utilização e exploração em ciclos de corte entre 5 e 7 anos (OLIVEIRA, 2019; GAMA et al., 2020).

Entretanto, além da laminação, a madeira dessa espécie tem potencial de utilização na produção de diversos outros tipos de materiais, como painéis de madeira lamelada colada (*Glulam*) – MLC (TEREZO et al., 2020), *Laminated Veneer Lumber* – LVL (COSTA et al., 2020), painéis de partículas de média densidade – MDP (SURDI, 2015), painéis de fibra de média densidade – MDF (RIBEIRO, 2015) e painéis de partículas orientadas – OSB (MELO; DEL MENEZZI, 2015; FERRO et al., 2015).

A utilização destes produtos engenheirados, produzidos com madeiras oriundas de plantios florestais cresce cada vez mais, pois, além de maximizar o seu aproveitamento, geram produtos de alto valor agregado e com resistência necessária para a utilização na construção civil (RUSH, 2020). Um dos produtos de madeira de destaques no cenário mundial é o painel de *Cross Laminated Timber* – CLT (madeira laminada cruzada), que consiste em camadas de lamelas de madeira coladas transversalmente, formando entre si em um ângulo de 90° (BRANDNER et al., 2016).

Uma das vantagens deste produto engenheirado em relação à madeira maciça, é a menor restrição de uso (dimensões superiores), maior valor agregado, otimização do uso da matéria prima, além de uma maior resistência mecânica e rigidez estrutural. Na construção civil este tipo de painel é versátil, podendo ser empregados como lajes, piso ou cobertura, vedações internas ou externas, com ou sem função estrutural e como um elemento decorativo (OLIVEIRA, 2018). Além disso, levando em consideração às características da matéria-prima, eles são renováveis e estocam carbono (BUZO, 2019).

A madeira pela sua composição química (celulose, hemicelulose, lignina e extrativos), quando exposta às condições de intempéries (radiação solar, ventos e chuva) e situações

favoráveis à deterioração, é um material susceptível ao ataque de organismos xilófagos (ABNT NBR 16143, 2013). Portanto, no processo de produção dos painéis CLT é indicado que a madeira seja tratada com produtos preservativos (MORRELL, 2006).

No Brasil, segundo dados da Associação Brasileira de Preservadores da Madeira (ABPM, 2021) são produzidas anualmente 2,5 milhões de metros cúbicos por ano de madeira tratada, sendo que deste total, 10% são preservadas com o borato de cobre cromatado (CCB) e 90% o arseniato de cobre cromatado (CCA), ambos aplicados sob pressão. Nas formulações destes produtos incluem o cromo (Cr), cobre (Cu), Boro (B) e arsênio (As).

Por causa da presença principalmente do arsênio, e do cromo, estas soluções trazem riscos à saúde humana e ao meio ambiente (DIAS; BARREIROS, 2017). Portanto, como já ocorre nos Estados Unidos e no Canadá, é necessária a substituição gradativa destes produtos por outros preservativos alternativos, que sejam menos tóxicos e eficazes na preservação da madeira (USEPA, 2016).

Neste intuito, a utilização de produtos naturais vem ganhando destaque. Dentre os principais produtos estudados tem-se o óleo de mamona (*Ricinus communis*) (SOUZA e DEMENIGHI, 2017); tanino, óleo de neem e *tall oil* (VIVIAN et al., 2020) e o timol (ZHANG et al., 2016; XIE et al., 2017; JAFRI; AHMAD, 2019).

O timol é um óleo essencial extraído principalmente de plantas pertencentes às espécies *Thymus* spp., *Ocimum* spp., *Origanum* spp., e que possui atividades biológicas, incluindo antibacteriana, antifúngica e antitérmicas (MARCHESE et al., 2016). Por causa dessas propriedades tem sido amplamente estudado como um promissor biocida e que poderá ser empregado em diversas áreas, destacando a sua utilização na preservação de madeira.

Neste contexto, essa revisão de literatura foi elaborada contemplando os principais tópicos abordados nesta pesquisa. Inicialmente será discutido as características silviculturais, anatômicas e tecnológicas do paricá, os principais mercados de utilização da madeira desta espécie no Brasil. Também serão discutido sobre as características do *Cross Laminated Timber* (CLT), o processo de produção e vantagens em utilizar este produto. Além disso, serão citados valores mínimos de resistência do *Cross Laminated Timber* para obtenção do selo de Conformidade Europeia.

Além destes tópicos, será abordado os tratamentos químicos atualmente empregados na produção de CLT, as metodologias de aplicação e aspectos negativos, por fim, um item abordará sobre produtos naturais promissores no controle de organismos xilófagos, destacando o timol, sua origem, mecanismo de ação, as suas utilidades em diversas indústrias, as possíveis formas de aplicação e a promissora utilização no tratamento de madeira.

## 2. PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke)

O paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) ocorre naturalmente na Amazônia, em solos argilosos de florestas primárias e secundárias de terra firme e várzea alta (SALES, 2018). É adaptado ao clima equatorial semiúmido, caracterizado por estações secas e chuvosas bem definidas (SCHWARTZ et al., 2017).

É uma espécie essencialmente heliófila e não apresenta bom desenvolvimento em locais com baixas temperaturas (ROSSI; QUISEN, 1997). Ocorre naturalmente em altitudes de até 800 m e na fase adulta (10 anos), possui dimensões próximas de 40 m de altura e 100 cm de diâmetro à altura do peito (dap) (CARVALHO, 2007). Geralmente, apresenta tronco bem definido, cilíndrico e reto, Figura 1 (SOUZA et al., 2005).

**Figura 1** - Características observadas para o paricá



Fonte: Souza et al. (2003).

As primeiras pesquisas com o paricá em povoamentos puros foram realizados na década 1970, mas somente em 1993 a espécie passou a ser cultivada em escala comercial, no município de Dom Eliseu, PA. Desde então, o paricá é cultivado em ambiente aberto com incidência solar direta. É considerada uma espécie arbórea “rústica”, com boa adaptação a solos de baixa fertilidade e manejada com práticas silviculturais relativamente básicas (AMATA, 2009).

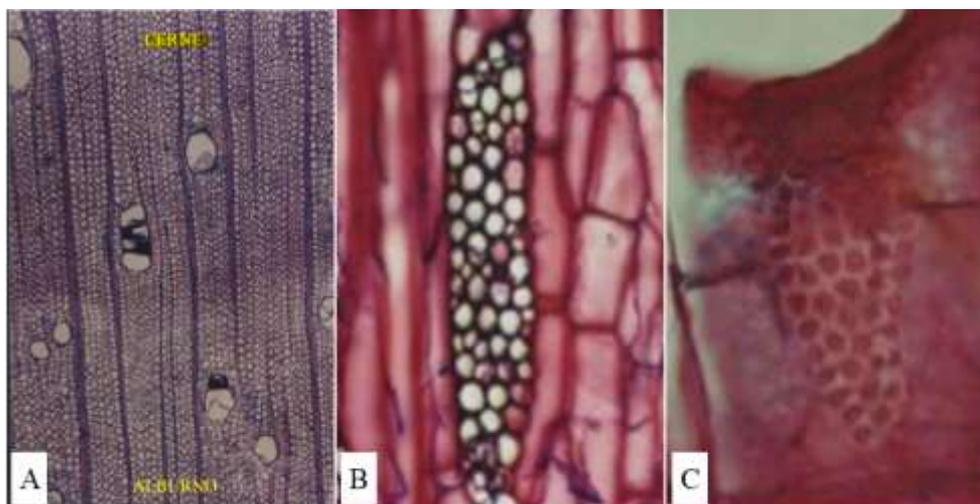
Pelas suas características, como bom desenvolvimento silvicultural (rápido crescimento e capacidade de se adaptar às diversas condições edafoclimáticas), o paricá é utilizado nos sistemas de produção florestal e agroflorestal na Amazônia, principalmente plantios de enriquecimento (OHASHI et al., 2010). Além da utilização em recomposição de áreas alteradas, o paricá é uma das espécies nativas mais plantadas no Brasil. A área de plantios comerciais no País, foi de 85.470 hectares em 2010 para 90.811 hectares em 2019, ou seja, uma elevação de 6% na área plantada (IBÁ, 2022).

Além destes plantios homogêneos, há estudos sobre a viabilidade para sua implantação consorciado com culturas agrícolas (Sistemas Agroflorestais) e pastagens (Sistemas Agrosilvopastoris) e integração lavoura-pecuária-floresta (CORDEIRO et al., 2015; SILVA; SCHWARTZ, 2019). A sua produtividade média anual varia em torno 10 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, estando na mesma faixa de crescimento das espécies de pinus que é de 25 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, e superior à da teca com 15 a 20 m<sup>3</sup>/ha/ano (VIDAURRE et al., 2018).

A madeira possui densidade média de 400 kg/m<sup>3</sup>, sendo considerada baixa (VIDAURRE, 2010). Possui madeira com coloração branca, de fácil processamento e recebe bom acabamento, tem textura média (diâmetro dos poros de 110 a 100 µm) e grã cruzada ondulada (COSTA, 2015). Além disso, a madeira é de baixa durabilidade natural, sendo susceptível principalmente a fungos e cupins (IWAKIRI et al., 2010; PILOCELLI et al., 2015; TEREZO et al., 2017).

Anatomicamente a madeira de paricá é caracterizada por presença de poros visíveis a olho nu, lume sem obstruções, predominantemente solitários, múltiplos de dois até cinco, cerca de 2 poros/mm<sup>2</sup>, porém, não há uma distinção macroscópica clara entre o cerne e o alburno (ROSA, 2006; VIDAURRE, 2010). Microscopicamente é possível notar que as fibras do cerne possuem espessura de sua parede maior do que as do alburno. O paricá aos 6 anos possui comprimento e largura de fibras, 1,080 mm e 30,368 µm, respectivamente. O parênquima axial: pouco visível a olho nu; paratraqueal aliforme losangular; apotraqueal difuso e o parênquima radial (raios): pouco visíveis a olho nu no plano transversal e visíveis somente sob lente de 10x no plano tangencial; finos; baixos; poucos; não estratificados; pouco contrastados na face radial, Figura 2 (TEREZO, 2010).

**Figura 2** - Zona de transição entre alborno e cerne (A); composição dos raios (B) e arranjo das pontuações (C), da madeira de paricá aos 6 anos de idade



Fonte: Terezo (2010).

Considerando a classificação de resistência da NBR-7190 (1997), o paricá independentemente da idade, é uma dicotiledônea de classe C-20. Os valores para a densidade básica e propriedades mecânicas média do paricá aos 6 anos e dez anos de idade com 12% de umidade, são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores de propriedades físicas e mecânicas do paricá aos 6 e 10 anos, com 12% de umidade

Propriedade da madeira	Valores	
	6 anos	10 anos
Densidade básica	327,99 kg/m <sup>3</sup>	347,47 kg/m <sup>3</sup>
Dureza Janka	26,87 MPa	28,45 MPa
Compressão Paralela	30,84 MPa	30,03 MPa
Módulo de elasticidade (MOE)	11.418,00 MPa	10.479,00 MPa
Resistência a flexão	57,50 MPa	61,11 MPa
Compressão normal	3,15 MPa	2,78 MPa
Tração Paralela	80,83 MPa	63,52 MPa
Tração Normal	3,23 MPa	2,86 MPa
Cisalhamento	2,72 MPa	2,62 MPa
Fendilhamento	0,48 MPa	0,50 MPa
Embutimento Paralelo	8,75 MPa	9,92 MPa

Fonte: Terezo (2010).

As limitações relacionadas à baixa densidade da madeira e resistência mecânica podem ser minimizadas com uso de tecnologias de colagem e fabricação de produtos de madeira reconstituída, como, painéis laminados, de partículas e de fibras (IWAKIRI et al., 2010). Uma das vantagens da madeira de paricá é a ausência de nós, o que permite fácil remoção da casca, laminação, secagem, prensagem, além de facilidade no acabamento (COLLI et al., 2010).

Existem atualmente diversos estudos que abordam a versatilidade de usos da madeira do paricá, que vão desde painéis do tipo *Laminated Veneer Lumber* – LVL (COSTA et al., 2020), painéis de partículas de média densidade – MDP (SURDI, 2015), painéis de partículas orientadas – OSB (FERRO et al., 2015), painéis de fibras de média densidade – MDF (RIBEIRO, 2015), painéis de madeira lamelada colada – MLC (MANRÍQUEZ; MORAES, 2010; GOMES et al., 2019) e compensados (MACHADO, 2018).

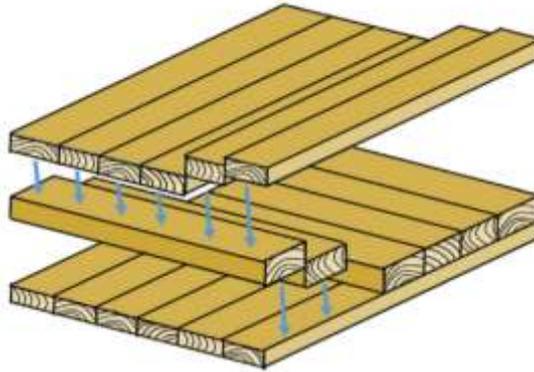
Portanto, o paricá é uma espécie que possui promissoras características silviculturais, como por exemplo, rápido crescimento, rusticidade e adaptabilidade às condições edafoclimáticas e que aliado às propriedades tecnológicas da madeira (densidade, cor e ausência de nós) possibilitam a sua utilização no desenvolvimentos de produtos engenheirados para a indústria de construção civil.

### **3. CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)**

O *Cross Laminated Timber* (CLT) ou madeira laminada cruzada, consistem em várias camadas de lamelas (3 a 9 lamelas) de madeira coladas transversalmente, formandas entre si em um ângulo de 90° (EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019; BRANDNER et al., 2016). A construção do CLT assemelha ao painel de compensado, sendo também constituído por um número ímpar de camadas, conforme ilustrado na Figura 3. A espessura média das lamelas de cada camada do CLT pode variar de 16 a 51 mm e a largura varia de aproximadamente 60 a 240 mm (EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019).

As primeiras fabricações do CLT ocorreram em meados dos anos de 1990, na Áustria e Alemanha, de uma parceria entre a indústria austríaca KLH® *Massivholz GmbH* e as pesquisas da *Graz University of Technology* (ALMEIDA, 2022). A inserção do sistema construtivo na construção foi lenta e nos anos 2000 teve aumento significativo (EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019).

**Figura 3** – Configuração típica de um painel CLT com três camadas



Fonte: Cherry et al. (2019).

Entre as principais vantagens do emprego do CLT estão o desempenho estrutural competitivo, estabilidade dimensional (passível da industrialização na produção dos painéis), redução ou isenção de resíduos na obra e bom isolamento térmico e acústico, a rapidez na construção pela pré-fabricação, ou seja, pode ser produzido em um local e levado para ser montado em outro, conforme ilustrado na Figura 4 (ALMEIDA, 2022). Além disso, o CLT tem boa resistência ao fogo, pôr a madeira maciça das lamelas externas carbonizar lentamente, enquanto as lamelas internas são preservadas, mantendo assim a integridade da estrutura global por maior período, condição que reduz e retarda falhas estruturais (MOHAMMAD et al., 2012). Outra característica é a capacidade de estocagem de CO<sub>2</sub> (BHANDARI et al., 2023).

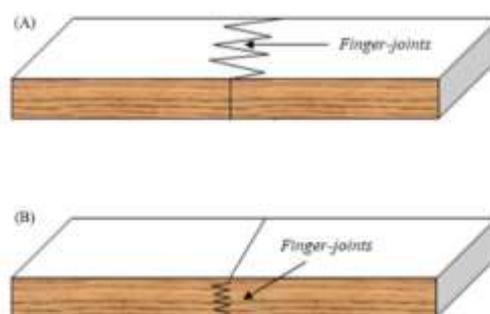
**Figura 4** – Montagem dos blocos de um prédio na cidade de Graz, Áustria



Fonte: Erol Karacabeyli e Brad Douglas (2019).

A fabricação da CLT envolve etapas de seleção da madeira serrada, classificação visual das tábuas secas, aplainamento das tábuas, realização de cortes ou emendas dentadas (*finger-joints*) quando necessário. Após, é realizada a colagem lateral das lamelas formando uma única camada (opcional) e então é realizada a colagem das camadas e prensagem do painel, realizada normalmente em uma prensa a vácuo. Os acabamentos, furos, instalações elétricas e hidráulicas poderão ser realizadas na fábrica ou no local de instalação do CLT (EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019). A forma de união das lamelas de madeira dentro de cada camada do CLT é demonstrada na Figura 5.

**Figura 5** – *Finger-joints* (a) vertical e (b) horizontal



Fonte: Ahmad et al. (2017).

Segundo Mallo e Espinoza (2015), o CLT é uma tecnologia de construção que agrega valor as espécies florestais, permitindo a utilização da madeira de baixo valor agregado para aplicações de alto valor comercial, o que contribui para uma melhor utilização dos recursos florestais. Podendo ser produzidos com diferentes espécies, tanto folhosas (*Paraserianthes falcataria*, *Endospermum malaccensis*, *Hevea brasiliensis* e *Canarium* sp.) quanto de coníferas (*Pinus strobus* L., *Pinus elliottii* e *Pinus nigra* P.) (CROVELLA et al., 2019; YUSOH et al., 2021).

A disposição das lamelas de madeira de forma cruzada formando um ângulo de 90° entre si é uma das grandes vantagens do CLT. Esta configuração reduz significativamente os efeitos de retração e inchamento da madeira, pelas variações de umidade, o que resulta num elemento com elevadas propriedades de resistência mecânica à tração, compressão e flexão (KUILEN et al., 2011). Além disso, a configuração cruzada das lamelas possibilita a distribuição de cargas de forma bidirecional, permitindo atingir elevadas capacidades de resistência e rigidez, o que possibilita a sua utilização desde o fechamento de paredes, até em coberturas e lajes (OLIVEIRA et al., 2018).

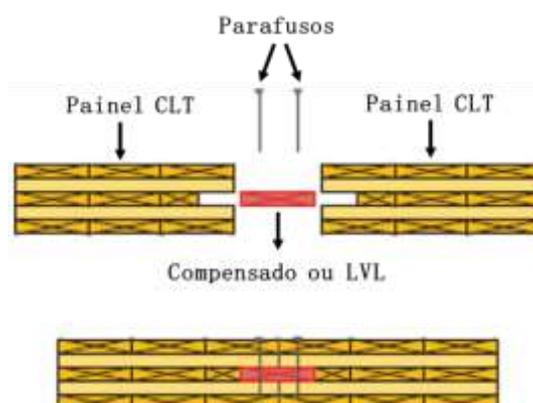
Entretanto, a estrutura do CLT é susceptível ao *rolling Shear* (cisalhamento com escorregamento das fibras). O *rolling shear* é um fenômeno que pode ocorrer nas camadas transversais do painel durante a aplicação da carga, geralmente na flexão, causado pelas forças cisalhantes que estão sendo aplicadas no painel, mas que nas camadas transversais é aplicada perpendicularmente a direção das fibras das lamelas, de forma que estas fibras tendem a romper as ligações e “rolar” umas sobre as outras (NAVARATNAM et al., 2020; ZHOU et al., 2022).

Além da sua configuração, o desempenho estrutural do CLT é influenciado pelo tipo de adesivo utilizado na colagem da madeira. Para minimizar as tensões causadas pela estrutura, é recomendável a aplicação de adesivos com propriedades elásticas e de cisalhamento comparáveis às da madeira utilizada (KONNERTH et al., 2006). Também deve ser evitado a presença de nós em camadas vizinhas do CLT, uma vez que reduz a resistência do painel (BRANDNER et al., 2016).

Atualmente, os principais adesivos utilizados na produção do CLT são o resorcinol-formaldeído (RF), fenol-resorcinol-formaldeído (PRF), melamina-formaldeído (MF), melamina-ureia-formaldeído (MUF) e poliuretano monocomponente (1K-PUR), bem como os adesivos de isocianato de polímero de emulsão (EPI) (EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019; BRANDNER et al., 2016).

Para a união dos painéis CLT destinados à construção civil é fundamental que haja ligações seguras e resistentes entre cada painel (MALLO; ESPINOZA, 2015). Conforme descrito por Erol Karacabeyli e Brad Douglas (2019), as uniões entre os painéis CLT podem ser realizadas com ligação metálicas, como parafusos perfurantes VGZ ou HBS, ambos com ausência total de cromo hexovalente, o que permite construções estruturalmente estáveis. Além disso, é possível utilizar compensado ou LVL na conexão dos painéis, conforme Figura 6.

**Figura 6** – Exemplo de conexões entre painéis CLT



Fonte: Erol Karacabeyli e Brad Douglas (2019).

O CLT pode ser exposto a diversas condições de ambientes, sendo susceptível as intempéries (radiação solar, ventos e chuva) e principalmente aos agentes biodeterioradores (fungos, térmitas e coleópteros) (LEBOW, 2010). Como os painéis CLT são produzidos principalmente de madeiras macias, cuja resistência natural à deterioração é baixa, seu uso em locais tropicais, como Brasil, Austrália e algumas partes dos EUA, devem ser associados a métodos de preservação para evitar a biodeterioração dos componentes estruturais da madeira (OLIVEIRA et al., 2018).

No Brasil as lamelas são adquiridas com ou sem impregnação de produto preservativo, podendo ser tratados em autoclave CCA ou CCB ou não tratados (OLIVEIRA; OLIVEIRA; BRAZOLIN, 2018). Entretanto os painéis produzidos com matéria-prima não tratada devem receber aplicação superficial de inseticida, por não estarem isentos do ataque de insetos xilófagos (OLIVEIRA, 2018).

No caso da produção nacional, é aplicado, por pincelamento, inseticida óleo-solúvel, como cipermetrina, após o corte do elemento construtivo (placa de CLT), antes do carregamento deste no veículo de transporte. Ressalta-se, que estes painéis devem ser colocados em um ambiente compatível ao seu tratamento, como divisórias internas fora do contato com a umidade, enquadradas nas categorias de uso 1 ou 2 da NBR 16143 (ABNT, 2013), em situações em que é possível a manutenção de sua superfície. Pois a aplicação superficial de inseticida apresenta menor durabilidade em relação ao tratamento em autoclave, podendo, assim, exigir reaplicações futuras durante a vida útil do edifício (NAVARATNAM, 2020). Além disso, alguns retardadores de fogo contêm boro, o que fornece resistência à biodeterioração pelos insetos quando são aplicados sob as peças de madeira (EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019).

Em relação as propriedades mecânicas, não existe uma norma exclusiva sobre CLT, entretanto, existe o documento técnico *European Technical Approval - ETA 06/0138* (2017), que especifica os valores mínimos de resistência do *Cross Laminated Timber* para obtenção do selo de Conformidade Europeia (CE). O selo CE obtido permite que painéis CLT possam ser utilizados como elementos de laje em edificações, divisória e como paredes autoportantes, ou seja, que possuem a função de suportar cargas além do próprio (AMORIM, MANTILLA; CARRASCO, 2017). Os valores mínimos de resistência do *Cross Laminated Timber*, conforme ETA 06/0138 (2017) são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Valores mínimos de resistência exigidos pelo *European Technical Approval* - ETA 06/0138 (2017).

	Requisito	Método de verificação	Classe /categoria de uso / valor numérico
<b>Resistência Mecânica e estabilidade</b>			
<b>cargas ou carregamento perpendiculares para painel maciço de madeira</b>			
Módulo de elasticidade <sup>3)</sup>	Paralelo à fibras na borda ( $E_{0,med}$ )	Anexo 4 CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	12.000 MPa
	Perpendicular as fibras do painel ( $E_{90,med}$ )	EN338	370 MPa
Módulo de Cisalhamento <sup>3)</sup>	Paralelo às fibras no painel ( $G_{90,med}$ )	EN338	690 MPa
	Perpendicular às fibras no painel, módulo de rolling shear ( $G_{90,med}$ )	CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	50 MPa
Res. à flexão	Perpendicular às fibras do painel ( $f_{m,k}$ )	Anexo 4 CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	24 MPa
Res. à tração	Perpendicular as fibras do painel ( $f_{t,90,k}$ )	EN 1194, reduzida	0,12 MPa
Res. à compressão	Perpendicular as fibras do painel ( $f_{c,90,k}$ )	EN 1194	2,7 MPa
Res. ao cisalhamento	Paralelo às fibras no painel ( $f_{v,k}$ )	EN 1194	2,7 MPa
	Perpendicular às fibras do painel, (tensão de rolling shear) ( $f_{v,R,k}$ )	Anexo 4 CUAP 03.04/06, 4.1.1.3	0,8 a 1,2 MPa
<b>cargas ou carregamento em um plano de laje de madeira maciça</b>			
Módulo de elasticidade <sup>3)</sup>	Paralelo à fibras na borda ( $E_{0,med}$ )	$A_{net}$ , $I_{net}$ , Anexo 4 CUAP 03.04/06, 4.1.2.1	12000 MPa
Módulo de Cisalhamento <sup>3)</sup>	Paralelo às fibras no painel ( $G_{90,med}$ ) <sup>1)</sup>	$A_{net}$ , Anexo 4 CUAP 03.04/06, 4.1.2.3	500 MPa <sup>1)</sup>

Continua.

Continuação.

Res. à flexão	Paralelo às fibras do painel ( $f_{m,k}$ )	$W_{0,05}$ , Anexo 4 CUAP 03.04/06, 4.1.2.1	24 MPa
Res. à tração 2)	Paralelo às fibras do painel ( $f_{t,0,k}$ )	EN 1194	16,5 MPa
Res. à compressão	Paralelo às fibras do painel ( $f_{c,90,k}$ )	EN 1194	24 MPa
	Carga concentrada, Paralelo às fibras do painel ( $f_{c,0,k}$ )	CUAP 03.04/06, 4.1.2.2	$k_{c,0}$ anexo 4, 2,4
Res. ao cisalhamento	independentemente da direção do carregamento, por linha de cola ( $f_{v,k,k}$ )	Anexo 4 – cisalhamento por fluência	90 N/mm
	Paralelo às fibras no painel ( $f_{v,k}$ )	Anexo 4 – tensão de cisalhamento	3,9 a 8,4 MPa
<b>Outras cargas</b>			
	Deformação e duração da carga	EN 1995-1-1	Classe de serviço 1 e 2
	Fator de deformação $K_{fat}$	EN 1995-1-1	Equivalente ao GLT
	Fator de Modificação $K_{mod}$	EN 1995-1-1	Equivalente ao GLT
	Estabilidade dimensional – o teor de umidade durante o serviço não deve mudar para não gerar deformações adversas		
	Fixadores	Anexo 5	Classe de serviço 1 e 2
Tolerância dimensional	Contração perpendicular ao plano do painel de madeira maciça	0,24% em espessura por ponto % de variação da umidade	
	Contração no plano do painel de madeira maciça como laje	0,01% em comprimento por ponto % de variação de umidade	

1) Este valor é aplicável para 2 estruturas dimensionais, painéis ortotrópicos. Para uma análise viga simplificada, esse valor será reduzido para 50%.

2) No caso de uma distribuição da tensão não uniforme, a resistência à flexão característica pode ser aplicada.

3) Para a determinação dos valores do quantil de 5% da propriedade de rigidez, os valores médios podem ser multiplicados por 5/6.

Fonte: *European Technical Approval* - ETA 06/0138 (2017).

#### 4. TRATAMENTOS PRESERVATIVOS DE MADEIRA

No geral, as madeiras em função de sua composição química (celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos) e sua estrutura anatômica (tipo de elemento anatômico, espessura de parede) são atrativas a organismos xilófagos, como fungos, térmitas e coleópteros, que penetram nos poros e se nutrem dos polímeros que compõem a estrutura lenhosa, fazendo com

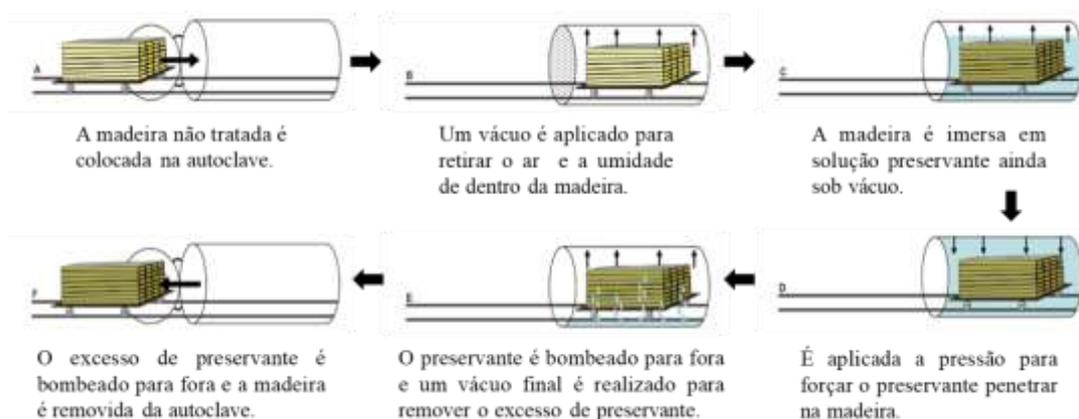
que algumas madeiras tenham como característica, a baixa durabilidade natural aos organismos xilófagos (PELIT; YALÇIN, 2017). Portanto, pelas inúmeras possibilidades de uso, como nos setores de construção civil, rural, elétrico, ferroviário e embalagens, elas deverão receber tratamento preservativo, a fim de garantir maior durabilidade, conforme descrito na NBR 16143 (ABNT, 2013).

Os métodos para aplicação dos produtos químicos na madeira podem ou não incluir pressão superior a do ambiente. Assim são classificados em processos caseiros ou sem pressão e processos industriais ou com pressão. Os processos caseiros abrangem várias técnicas como o pincelamento, aspersão ou pulverização, imersão rápida ou prolongada, banho quente-frio, capilaridade ou substituição de seiva e processo “Boucherie” (ZABEL, 2020). Contudo, estes processos promovem uma proteção superficial ao material, necessitando de novas aplicações ao longo do tempo para garantir a durabilidade da peça (BALDIN et al., 2020).

Os processos industriais são os mais eficientes, pois proporcionam uma distribuição e penetração mais uniforme do preservativo na madeira (EVANGELISTA, 2011). Conforme descrito por Lima (2018), os processos utilizados para aplicar o preservativo sob pressão na madeira geralmente são agrupados em dois tipos: célula cheia (processo Bethell) e célula vazia. O que distingue os dois tratamentos é a aplicação de um vácuo inicial no processo de célula cheia. Dessa forma, o ar presente no interior da madeira é retirado, fazendo com que o preservativo, ao ser liberado, seja sugado para o interior da madeira.

O método Bethell utilizava, originalmente, preservativos óleos solúveis e atualmente, os hidrossolúveis também são utilizados, além disso, é o método mais utilizado no Brasil (VIDAL et al., 2015). Na Figura 7 são ilustradas as etapas de vácuo inicial e pressão e vácuo final do processo Bethell.

**Figura 7** – Etapas típicas no processo Bethell de tratamento da madeira



Fonte: Adaptado de Lebow (2010).

Segundo Vidal et al. (2015), os produtos preservativos são classificados de acordo com a sua solubilização em óleo ou em água, dessa forma, podem ser óleos solúveis (creosoto e alcatrão) ou hidrossolúveis (CCA e CCB). Considerando a indústria da preservação de madeiras, verifica-se maior importância dos preservativos hidrossolúveis, que correspondem aos produtos mais utilizados atualmente (CANDATEN, 2021).

O CCA é um preservativo hidrossolúvel constituído de cobre, cromo e arsênio. Sendo que, o cobre tem ação fungicida, o arsênio tem ação inseticida e o cromo age como fixador desses elementos na madeira (EVANGELISTA, 2011). Internacionalmente, são normatizadas três formulações de CCA, definidas como tipos A, B e C, em que variam as proporções dos componentes. Porém, atualmente apenas o CCA tipo C é registrado e liberado para comercialização na maioria dos países, incluindo o Brasil (APPEL et al., 2006; AWPA, 2021). Na formulação do CCA-C, o cromo, cobre e arsênio estão presentes em 47,5%, 18,5% e 34%, respectivamente, o que confere a formulação um balanço estequiométrico ideal de eficácia e resistência à lixiviação, para madeiras (pinus e eucalipto) utilizadas comercialmente no Brasil (LEBOW, 2010).

Entretanto, os componentes presentes neste preservativo, principalmente o arsênio e cromo, são elementos com alta toxicidade, e, em vários países, há restrições quanto à sua utilização (MERCER; FROSTICK, 2014). Essas restrições possuem como base, a perda dos componentes do CCA ao longo do tempo por lixiviação ou volatilização, acarretando riscos de contaminação ao ser humano e ao meio ambiente (LEBOW, 2010; SOUZA; DEMENIGHI, 2017; DOMINGOS, 2020).

Segundo Brito (2017), o CCB é uma alternativa aos problemas ocasionados pelo uso do CCA, uma vez que é constituído por uma mistura de sulfato de cobre, ácido bórico e bicromato de potássio. Neste caso houve a substituição do arsênio pelo boro, que apesar de menos tóxico, ainda, existem dúvidas em relação à sua resistência à lixiviação e sua eficiência, a longo prazo no combate aos insetos.

Em decorrência da boa resistência natural que algumas espécies apresentam contra organismos de biodeterioração, muitos estudos têm objetivado desenvolver produtos alternativos aos tradicionais utilizados no tratamento da madeira, como os extrativos de origem vegetal (CELOTO et al., 2008). Entre os extrativos de plantas, estão os óleos essenciais de plantas aromáticas, como por exemplo, o timol (*Thymus* spp., *Ocimum* spp., *Origanum* spp.) (ZHANG et al., 2016; XIE et al., 2017; JAFRI; AHMAD, 2019), citronela e alecrim (SOUZA; DEMENIGHI, 2017); os óleos extraídos das sementes/grãos, como por exemplo, óleo de neem (*Azadirachta indica*), mamona (*Ricinus communis*) e linhaça (*Linum usitatissimum*)

(BOSSARDI; BARREIROS, 2011; SOUZA, 2017). E, ainda, os extrativos da madeira como o tanino (flavan-3-ol e/ou flavan-3,4-diol), os corantes, os óleos, as resinas, as ceras e os ácidos graxos (SILVEIRA, 2015).

Além da baixa toxicidade aos seres humanos e ao meio ambiente, e eficiência contra a biodeterioração, os preservativos alternativos possibilitam a utilização técnicas mais simples de aplicação do produto. É possível o emprego de métodos não industriais como o pincelamento, a imersão prolongada e o banho quente-frio, como formas de preservação de madeiras com baixo custo e facilidade nas operações (BALDIN et al, 2020).

O pincelamento é um dos processos de tratamento mais simples disponíveis, podendo ser realizado com preservativos hidrossolúveis ou oleossolúveis de baixa viscosidade aplicados diretamente na superfície da madeira. Como desvantagem, a penetração do produto raramente ultrapassa poucos milímetros e qualquer movimentação da madeira provocará a ruptura da camada protetora e sua consequente exposição (VIDAL et al., 2015). Além disso, a constatare exposição às intempéries (radiação solar, ventos e chuva), o produto tem menor tempo de permanência na madeira.

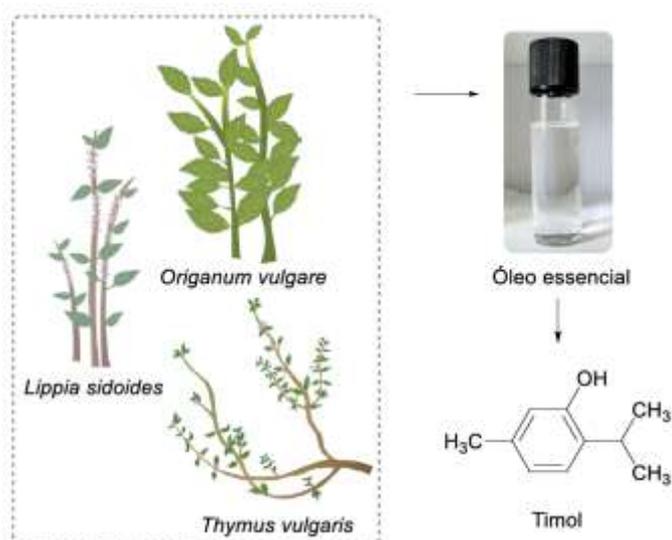
No método de imersão prolongada a madeira seca (20% de umidade base seca) é mergulhada na solução impregnante, à temperatura ambiente, durante o tempo considerado necessário para a absorção desejada. Já o banho quente-frio consiste em mergulhar a madeira seca e descascada na solução preservativa de natureza hidrossolúvel ou oleosa à temperatura de 60 a 90° C durante o período necessário para que a madeira entre em equilíbrio térmico com a solução, fazendo com que o ar presente no interior das células se expanda e seja parcialmente expulso. Em seguida, a madeira deve ser mergulhada na mesma solução, à temperatura ambiente até atingir o equilíbrio térmico novamente. Desta forma, o ar remanescente na célula se contrai, criando vácuo no interior da madeira, e a solução é absorvida (BALDIN et al, 2020).

## 5. TIMOL

O Timol, nomeado pela IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) como 2-isopropil-5-metilfenol ou 5-metil-2-isopropilfenol, é um óleo natural fenol-monoterpenóide, cristalino e incolor, com odor característico (SILVA, 2021). Pode ser obtido de forma sintética ou em diferentes plantas como orégano mexicano, *Lippia graveolens* com 70,6% (GUEVARA et al., 2018); *T. fontanesii* com 67,8% (GHANNADI et al., 2004) e *T. ciliatus* com 79,1% (KABOUCHE et al., 2009); além do alecrim-pimenta, *Lippia sidoides*

variando de 34,2 a 95,1% (LEAL et al., 2003) e o tomilho, *Thymus vulgaris* variando entre 10 e 64% (SALEHI et al., 2018), conforme ilustrado na Figura 8.

**Figura 8** – Representação esquemática da fórmula química e origem do timol



Fonte: Soares (2018).

Nas plantas a extração do timol é por hidrodestilação (CORRÊA et al., 2010) ou com o uso de solventes como o hexano. Sinteticamente, pode ser obtido pela condensação de alquilfenóis e cetonas a baixas temperaturas e com um agente condensante como o ácido hidrolórico (GUEVARA et al., 2018).

Dentre os estudos que destacam a eficiência fitoterápica do timol (óleo essencial *T. vulgaris*), tem-se: o tratamento de distúrbios que afetam o sistemas respiratório e digestivo (antitussígeno, expectorante, estomacal, digestivo, carminativo e antiespasmódico) (WAN et al., 2018), eficácia contra doenças bucais, como cáries (REZAEIAN et al., 2019), cicatrizante (MOLLARAFIE et al., 2015), antioxidante (NIKOLIC et al., 2014), anti-inflamatório (OLIVEIRA et al., 2017), atividades antimicrobianas (COSTA et al., 2018; REYES-JURADO et al., 2019).

As aplicações do timol não se restringem apenas aos fins farmacológicos, sendo classificado pela “*Food and Drug Administration*” dos EUA como “geralmente reconhecido como seguro” (GRAS) ou como aditivos alimentares (U.S. *Food and Drug Administration* - FDA (2020). Deste modo, o timol é amplamente utilizado na indústria de alimentos como antimicrobiano, uma vez que, pode inibir uma variedade de microrganismos que deterioram os alimentos, prolongando sua vida útil sem comprometer saúde do consumidor (LEE et al., 2020).

O timol também é usado no campo de agroquímicos naturais como agente antimicrobiano em plantios de soja (*Glycine max*), além de ser um portador promissor de micronutrientes (zinco) para as plantas (KUMARI et al., 2019). Pelas suas propriedades inseticidas, acaricidas e repelentes, tem havido um interesse crescente no estudo da atividade deste óleo essencial (BENELLI et al., 2017; GLAVAN et al., 2020). As promissoras propriedades biocida do timol são causadas pelas suas características antifúngicas (ZHANG et al., 2016; XIE et al., 2017; JAFRI; AHMAD, 2019) e antitérmicas (LIMA et al., 2013; SANTOS et al., 2017).

O timol apresenta uma meia vida na água 15,80 ( $\pm 1,24$ ) dias, já no solo reduz para 5,35 ( $\pm 0,13$ ) dias. Este tempo de meia vida é considerado baixo em comparação com outros compostos, como por exemplo, o herbicida atrazina, que persiste no meio ambiente aquático por mais de 146 dias e ambiente terrestre por até 1000 dias (HU; COATS, 2008). Esta rápida degradação do timol diminui o seu tempo de contato com organismos não-alvos, mas seus subprodutos, ainda não descritos em literatura, podem permanecer no ambiente (HU; COATS, 2008).

Para aumentar a efetividade de ação do timol, tem-se pesquisado sobre sua nanoencapsulação do timol, que possibilita um sistema de liberação controlada de biocidas, favorecendo a estabilidade desses compostos, reduzindo a ação externa sobre eles, assim como, melhorando a interação deles com os organismos, o que possibilita reduzir a dose e as reaplicações nos diferentes bioecossistemas (MATTOS et al., 2019).

As nanopartículas biogênicas de sílica sintética têm sido amplamente investigadas como sistemas de liberação controlada, tanto para produtos farmacêuticos, como para praguicidas (MATTOS et al., 2018). Essas nanopartículas são, particularmente atraentes, pela grande área superficial e apresentam estabilidade térmica (MATTOS et al., 2019). Estes métodos de nanoencapsulação, porém, ainda são restritos a pesquisas farmacêuticas (SLOWING et al., 2008) e aplicações de agroquímicos (MATTOS et al., 2017).

De maneira geral, o timol é um dos biopesticidas mais versáteis e amplamente investigado nos setores farmacológicos, alimentícios e de agricultura (NURUZZAMAN et al., 2016). A sua eficácia contra os microrganismos ainda é pouco estudada, mas acredita-se que a ação do timol sobre as bactérias pela presença de componentes fenólicos na sua estrutura. Estes componentes provocam o rompimento da membrana citoplasmática da parede celular nas bactérias (TROMBETTA et al., 2005; GONÇALVES, 2016). O mecanismo de ação antifúngica acontece de modo similar ao bacteriano, ou seja, as substâncias químicas contendo o timol

deterioram as células do fungo, rompendo a membrana plasmática e as proteínas da membrana celular (ESPER, 2011).

## 6. REFERÊNCIAS

AHMAD, Z.; LUM, W. C.; LEE, S. H.; RAZLAN, M. A.; MOHAMAD, W. H. W. Mechanical properties of finger jointed beams fabricated from eight Malaysian hardwood species. **Construction and Building Materials**, v. 145, n. 1, p. 464-473, 2017.

ALMEIDA, A. C.; HIROSAWA, L. J.; MARIANO, M. I.; SILVA, D. R. Panorama internacional e nacional do uso e aplicação do sistema construtivo *Cross Laminated Timber* – CLT. **Conjecturas**, v.22, n.13, 2022.

AMATA. **Revisão sobre paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber Ex Ducke**. São Paulo: AMATA S/A - Inteligência da floresta viva. 106 p. 2009.

American Wood Protection Association - AWP. Gransbury, TX: **American Wood Protection Association (formerly American Wood-Preservers Association)**. Disponível em: <https://awpa.com/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

AMORIM, S. A.; MANTILLA, J. R.; CARRASCO, E. V. M. A madeira laminada cruzada: aspectos tecnológicos, construtivos e de dimensionamento. **Revista Matéria**, v. 22, n.1, p.11937, 2017.

APPEL, JÚLIO S. L; TERESCOVA, VALENTINA; RODRIGUES, VIVIANE C. B; VARGAS, VERA M. F. Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v. 19, n. 1, p. 33-47, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 16143: Preservação de madeiras – Sistema de categorias de uso**. Rio de Janeiro, n. 19. 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

**Associação Brasileira de Preservadores da Madeira** - ABPM. Disponível em: <https://www.abpm.com.br/>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BALDIN, T.; BRAÚNA, E. E. P.; COUTINHO, M. N.; BRITO, T. R. Tratamentos não industriais em madeiras de *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. **Agroecossistemas**, v. 12, n. 2, p. 194-204, dez./set. 2020.

BALDIN, T.; NUNES, S. M. V.; EVARISTO, S. T. A.; DIAS, T. L.; BARAÚNA, E. E. P. Extratos das folhas de *Corymbia citriodora* na proteção da madeira de *Eucalyptus* sp. **Revista Matéria**, v.27, n.2, 2022.

BENELLI, G., PAVELA, R., CANALE, A., CIANFAGLIONE, K., CIASCETTI, G., CONTI, F., NICOLETTI, M., SENTHIL-NATHAN, S., MEHLHORN, H., MAGGI, F. Acute larvicidal toxicity of five essential oils (*Pinus nigra*, *Hyssopus officinalis*, *Satureja montana*, *Aloysia citrodora* and *Pelargonium graveolens*) against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus* : Synergistic and antagonistic effects. **Parasitology International**, v.66, p.166–171, 2017.

BHANDARI, S.; RIGGIO, M.; JAHEDI, S.; FISCHER, C. E.; MUSZYNSKI, L.; LUO, ZHIXIN. A review of modular *Cross Laminated Timber* construction: Implications for temporary housing in seismic áreas. **Journal of Building Engineering**, v.63, n.1, p. 105485, 2023.

BOSSARDI, K. BARREIROS, R. M. Produtos naturais como preservantes para madeiras de rápido crescimento – uma revisão. **Ciência da Madeira**, v. 2, n. 2, p. 109-118, 2011.

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

BRITO, A. F. **Resistência da madeira de várias espécies de eucalipto a organismos xilófagos e intemperismo após tratamento com CCB por substituição de seiva**. 2017. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2017.

BUZO, A.L.S.; SUGAHARA, E.S.; SILVA, A.D.M.D.; MORALES, E.A.M.; AZAMBUJA, M.D.A. Painéis de pinus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 183-193, 2019.

CANDATEN, L. **Alternativas de uso para resíduos de madeira tratada através da extração de metais e manufatura de painéis MDP**. 2021. 72 f. Dissertação (Recursos Florestais - Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2021.

CARVALHO, P. E. R. **Paricá (*Schizolobium amazonicum*)** - Circular Técnica, 142. Colombo: Embrapa Florestas, Embrapa Florestas. 8p. 2007.

CELOTO, M. I. B.; PAPA, M. F. S.; SACRAMENTO, L. V. S.; CELOTO, F. J. Atividade antifúngica de extratos de plantas a *Colletotrichum gloeosporioides*. **Acta Scientiarum**, v. 30, n. 1, p. 1-5, 2008.

CHERRY, R.; MANALO, A.; KARUNASENA, W.; STRINGER, G. Out-of-grade sawn pine: A state-of-the-art review on challenges and new opportunities in Cross Laminated Timber (CLT). **Construction and Building Materials**, v. 211, p. 858-868, 2019.

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

CORDEIRO, I.M.C.C.; BARROS, P.L.C.; LAMEIRA, O.A.; FILHO, A.B. G. Avaliação de plantios de paricá (*schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará - PA (Brasil). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 679-687, 2015.

CORRÊA, R. M.; PINTO, J. E. B. P.; REIS, E. S.; COSTA, L. C. B.; ALVES, P. B.; NICULAN, E. S.; BRANT, R. S. Adubação orgânica na produção de biomassa de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 1, p. 80-89, 2010.

COSTA, A. A.; MASCARENHAS, A. R. P.; SANTOS, C. M. M.; FARIA, C. E. T.; DUARTE, P. J. CRUZ, T. M. Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

COSTA, M. A. **Efeito de diferentes estratégias de densificação sobre as propriedades de compensados e painéis de linhas paralelas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. 2015. 148 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2015.

COSTA, M. F.; DURC, A.O.; RABELO, T. K.; BARRETO, R. S. S.; GUIMARAES, A. G. Effects of carvacrol, thymol and essential oils containing such monoterpenes on wound healing: a systematic review. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v.18, 2018.

CROVELLA, P.; SMITH, W.; BARTCZAK, J. Experimental verification of shear analogy approach to predict bending stiffness for softwood and hardwood Cross-Laminated Timber panels. **Construction and Building Materials**, v.229, n.30, 2019.

DIAS, K.B.; BARREIROS, R.M. Potentiality of tall oil as preservative for wood. **Chemical and Biomolecular Engineering**, v. 2, p.180-183, 2017.

DOMINGOS, D. M. **Toxicidade das cinzas volantes geradas pela utilização de madeira tratada com arseniato de cobre cromatado (CCA) como material combustível**. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Sustentabilidade) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2020.

EROL KARACABEYLI, P.E.; BRAD DOUGLAS, P.E. **CLT HandBook Cross-Laminated Timber**. fpinnovations.ca. Department of Agriculture, Forest Service, Forest. Library and Archives Canada Cataloguing in Publication, 812 p., 2019.

ESPER, R. H. Óleos essenciais de mentrasto e orégano no controle *Aspergillus flavus* em milho e soja. **Instituto Biológico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**. 20p. 2011.

**European Technical Approval - ETA 06/0138 - KLH MassivHolzplatten**. European Organisation for Technical Approvals. Viena, AT, p. 43. 2017.

EVANGELISTA, W. V. **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto**. 2011. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

FERRO, F. S.; ICIMOTO, F.H.; SOUZA, A.M.; ALMEIDA, D.H.; CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F.A.R. Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 313-320, 2015.

GAMA, R. V; SOBRINHO, J. M. S.; OLIVEIRA, J. M.; DOS SANTOS, N. G.; SANTOS, I. S. Viabilidade econômica de uma monocultura de paricá. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1660-1666, 2020.

GHANNADI, A.; SAJJADI, S. E.; KABOUCHE, A.; KABOUCHE, Z. *Thymus fontanesii* Boiss. & Reut.-A potential source of thymol-rich essential oil in North Africa. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 59, n. 3-4, p. 187-189, 2004.

GLAVAN, G.; NOVAK, S.; BOŽIĆ, J.; JEMEC, K.A., 2020. Comparison of sublethal effects of natural acaricides carvacrol and thymol on honeybees. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.166, p. 104567, 2020.

GOMES, J.M.; SILVA, J.C.F.; VIEIRA, S.B.; CARVALHO, J.O.P.; OLIVEIRA, L.C.L. Q.; QUEIROZ, W.T. *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby pode ser utilizada em enriquecimento de clareiras de exploração florestal na Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 417-424, 2019.

GONÇALVES, N.D. **Encapsulação de óleo essencial de tomilho e avaliação como potencial ingrediente funcional tecnológico**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição) – Universidade Federal de Campinas, Limeira, SP, 2016.

GUEVARA, P.; REYNA-SEGURA, J.; ZUÑIGA-RUIZ, B.; LLANOS-ROMERO, R. E.; ANDRÉS-YEVES, M. F.; BARAJAS-GUZMÁN, M. G.; ECHEVERRI, F.; LEÓN-RIVERA, I. Biocidal effect of a hexane-soluble extract of *Lippia graveolens* Kunth (Verbenaceae). **Boletim Latino-americano e Caribenho de Plantas Mediciniais e Aromáticas**, v. 17, n. 4, p. 342-349, 2018.

HU, D.; COATS, J. Evaluation of the environmental fate of Thymol and phenethyl propionate in the laboratory. **Pest Management Science**, v. 64, p. 775-779, 2008.

Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. **Relatório 2022: Ano base 2021**, p.80. 2022.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J.A.; RAMIREZ, M.G.L.; SOUZA, M.M.; Rodrigo SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, v. 40, n.2, p.303-308, 2010.

JAFRI, H.; AHMAD, I. *Thymus vulgaris* essential oil and thymol inhibit biofilms and interact synergistically with antifungal drugs against drug resistant strains of *Candida albicans* and *Candida tropicalis*. **Journal de Mycologie Medicale**, v.18, 2019.

KABOUCHE, A.; GHANNADI, A.; KABOUCHE, Z. *Thymus ciliatus*—The highest thymol containing essential oil of the genus. **Natural Product Communications**, v. 4, n. 9, p. 1251-2, 2009.

KONNERTH, J.; VALLA, A.; GINDL, W.; MULLER, U. Measurement of strain distribution in timber finger joints. **Wood Science and Technology**, v.40, p.631-636, 2006.

KUILEN, J.W.G.V.; CECCOTTI, A.; XIA, Z.; HE, M. Very tall wooden buildings with Cross Laminated Timber. **Procedia Engineering**, v.14, p.1621-1628. 2011.

KUMARI, S., CHOUDHARY, R.C., KUMARASWAMY, R.V., BHAGAT, D., PAL, A., RALIYA, R., BISWAS, P., SAHARAN, V. Zinc-functionalized thymol nanoemulsion for promoting soybean yield. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.145, p.64–74, 2019.

LEAL, L. K. A. M.; OLIVEIRA, V. M.; ARARUNA, S. M.; MIRANDA, M. C. C.; OLIVEIRA, F. M. A. Análise de timol por CLAE na tintura de *Lippia sidoides* Cham.(alecrim-pimenta) produzida em diferentes estágios de desenvolvimento da planta. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 13, p. 9-11, 2003.

LEBOW, S.T. Wood Preservation. *In*: CLAUSEN, C. A. **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. United States: Centennial Edition. p.14-16. 2010.

LEE, S.; KIM, H.; BEUCHAT, L.R.; KIM, Y., RYU, J.-H. Synergistic antimicrobial activity of oregano and thyme thymol essential oils against *Leuconostoc citreum* in a laboratory medium and tomato juice. **Food Microbiol**, v.90, p. 103489, 2020.

LIMA, L.K.A.; ALBUQUERQUE, E.L.D.; SANTOS, A.C.C.; OLIVEIRA, A.P.; ARAÚJO, A.P.A.; BLANK, A.F.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; ALVES, P.B. SANTOS, D.A.; BACCI, L. Biototoxicity of some plant essential oils against the termite *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae). **Industrial Crops and Products**, v.47, p.246-251, 2013.

MACHADO, J. F.; HILLIG, E.; WATZLAWICK, L. F.; BEDNARCZUK, E.; TAVARES, E. L. Production of plywood panel for exterior use with paricá and embaúba timbers. **Revista Árvore**, v.42, n. 4, p.420406, 2018.

MALLO, M.F.; ESPINOZA, O. Awareness, perceptions and willingness to adopt Cross-Laminated Timber by the architecture community in the United States. **Journal of Cleaner Production**, v.94, p.198-210, 2015.

MANRÍQUEZ, M.J.; MORAES, P.D. Influence of the temperature on the compression strength parallel to grain of paricá. **Construction and Building Materials**, v.24, n.1, p.99-104, 2010.

MARCHESE, A.; ORHAN, I.E.; DAGLIA, M.; BARBIERI, R.; DI LORENZO, A.; NABAVI, S.F.; GORTZI, O.; IZADI, M.; NABAVI, S.M. Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature. **Food Chemistry**. v.210, p.402–414, 2016.

MATTOS, B. D.; SILVA, L.R.S.; DE SOUZA, I.R.; MAGALHAES, W.L.E.; LEME, D.M. Slow delivery of biocide from nanostructured, microscaled, particles reduces its phytotoxicity: A model investigation. **Journal of hazardous materials**, v. 367, p. 513-519, 2019.

MATTOS, B.D., TARDY, B.L., MAGALHÃES, W.L.E; ROJAS, O. J. Controlled release for crop and wood protection: Recent progress toward sustainable and safe nanostructured biocidal systems. **Journal of Controlled Release**, v.262, 2017.

MATTOS, B. D.; TARDY, B.L.; PEZMAN, M.; KAMARAINEN, T.; LINDER, M.; SCHREINER, W.H.; MAGALHÃES, W.L.E.; ROJAS, O.J. Controlled biocide release from hierarchically-structured biogenic sílica: surface chemistry to tune release rate and responsiveness. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11. 2018.

MELO, R.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Influence of adhesive type on the properties of LVL made from paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) plantation trees. **Drvna Industrija**, v.66, n.3, p.205-212, 2015.

MERCER, T. G.; FROSTICK, L. E. Evaluating the potential for environmental pollution from chromated copper arsenate (CCA)-treated wood waste: A new mass balance approach. **Journal of Hazardous Materials**, v. 276, p. 10-18, 2014.

MOHAMMAD, M.; GAGNON, S.; DOUGLAS, B. Introduction to *Cross Laminated Timber*. **A Journal of Contemporary Wood Engineering**, p. 3–12, 2012.

MOLLARAFIE, P.; PARSI, P.K.; ZARGHAMI, R.; AMINI, F.; GHAFARZADEGAN, R. Antibacterial and wound healing properties of thymol (*Thymus vulgaris* Oil) and its application in a novel wound dressing. **Journal of Medicinal Plants**, v.14, p.68-81, 2015.

MORRELL, J. J. **Chromate copper arsenate as a wood preservative. In: Environmental Impacts of Treated Wood**, T.G. Townsend and H. Solo-Gabriele (Ed.). CRC Press, Boca Raton, p.5-17, 2006.

NAVARATNAM, S.; CHRISTOPHER, P. B.; NGO, T.; LE, T.V. Bending and shear performance of Australian Radiata pine Cross Laminated Timber. **Construction and Building Materials**, v.232, p.117-215, 2020.

NIKOLIC, M.; GLAMOCLIJAJ, J.; FERREIRA, I.C.F.R.; CALHELHA, R.C.; FERNANDES, A.; MARKOVIC, T.; MARKOVIC, D.; GIWELI, A.; SOKOVIC, M. Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. **Industrial Crops and Products**, v.52, p.183–190, 2014.

NURUZZAMAN, M.; RAHMAN, M. M.; LIU, Y.; NAIDU, R. Nanoencapsulation, Nano-Guard for pesticides: a new window for safe application. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.64, p.1447–1483, 2016.

OHASHI, S.T.; YARED, J.A.G.; NETO, J.T.F. Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba var amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares – Pará. **Acta Amazonica**, v.40, n.1, p.81-88, 2010.

OLIVEIRA, G. L. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho - Recomendações para o processo de projeto arquitetônico**. 2018. 194 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2018.

OLIVEIRA, G. L.; OLIVEIRA, F. L.; BRAZOLIN, S. Wood preservation for preventing biodeterioration of Cross Laminated Timber (CLT) panels assembled in tropical locations. **Procedia Structural Integrity**, v.11, p.242–249, 2018.

OLIVEIRA, J.R.; VIEGAS, D.J.; MARTINS, A.P.R.; CARVALHO, C.A.T.; SOARES, C.P.; CAMARGO, S.E.A.; JORGE, A.O.C.; DE OLIVEIRA, L.D. *Thymus vulgaris* L. extract has antimicrobial and anti-inflammatory effects in the absence of cytotoxicity and genotoxicity. **Archives of Oral Biology**, v.82, p.271–279, 2017.

OLIVEIRA, S. S.; OLIVEIRA, G. N.; SOUZA, D. P.; OLIVEIRA, L.N.; SILVA, S.O.; CARVALHO, J. E. F. G.; FERREIRA, J. B.; DE OLIVEIRA, E. Grow of paricá (*Schizolobium parahyba var amazonicum* (Huber ex Ducke) cultivated in diferent organic substrates. **African Journal of Agricultural Research**, v.14, p.303-310, 2019.

PELIT, H.; YALÇIN, M. Resistance of mechanically densified and thermally posttreated pine sapwood to wood decay fungi. **Journal of Wood Science**, v. 63, n. 5, p. 514–522, 2017.

PILOCELLI, A.; STANGERLIN, D.M.; PEREIRA, R.L.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E.; SUSIN, F. Resistência natural das madeiras de Cumaru, Cedrinho e Paricá submetidas a ensaios de deterioração de campo. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p.1-10, 2015.

REYES-JURADO, F.; CERVANTES-RINCÓN, T.; BACH, H.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E. Antimicrobial activity of Mexican oregano (*Lippia berlandieri*), thyme (*Thymus vulgaris*), and mustard (*Brassica nigra*) essential oils in gaseous phase. **Industrial Crops and Products**, v.131, p.90–95, 2019.

REZAEIAN, Z.; BEIGI-BOROUJENIA, S.; ATAIB, M.; EBRAHIMIBAGHAA, M.; ÖZCAN, M. A novel thymol-doped enamel bonding system: Physico-mechanical properties, bonding strength, and biological activity. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v.100, p. 103378, 2019.

RIBEIRO, V. C. N. **Caracterização anatômica da matéria-prima e avaliação das propriedades tecnológicas de painéis MDF de madeira de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke e de resíduos de espécies da Amazônia**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2015.

ROSA, L.S. Características botânicas, anatômicas e tecnológicas do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Revista Ciências Agrárias**, n. 46, p.63-79, 2006.

ROSSI, L. M. B.; QUISEN, R. C. *Schizolobium amazonicum* Ducke: a multipurpose tree in Rondonia, Brazil. In: ALTERNATIVES TO SLASH-AND-BURN ANNUAL REVIEW MEETING, 6., Bogo, 1997. **Posters Abstracts**. Nairobi: ICRAF, 1997.

SALEHI, B.; MISHRA, A. P.; SHUKLA, I.; SHARIFI-RAD, M.; CONTRERAS, M. M.; SEGURA-CARRETERO, A.; FATHI, H.; NASRABADI, N. N.; KOBARFARD, F.; SHARIFI-RAD, J. Thymol, thyme, and other plant sources: Health and potential uses. **Phytotherapy Research**, v. 32, n. 9, p. 1688-1706, 2018.

SALES, A. **Análise técnica e econômica do cultivo de paricá em sistema agrissilvicultural**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

SANTOS, A.A.; OLIVEIRA, B.M.S.; MELO, C.R.; LIMA, A.P.S.; SANTANA, E.D.R.; BLANK, A.F.; PICAÇO, M.C.; ARAÚJO, A.P.A.; CRISTALDO, P.F.; BACCIA, L. Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.145, p. 436-441, 2017.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P. C. G.; SIVIERO, M. A.; PEREIRA, J. F.; RUSCHEL, ADEMIR R.; YARED, J. A. G. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 390, n. 2, p. 166-172, 2017.

SILVA, A.R.S.; SCHWARTZ, G. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies florestais em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no leste da Amazônia. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 45-63, 2019.

SILVEIRA, A. G. **Utilização do tanino como preservante natural da madeira de *Acacia mearnsii* e sua toxidez ao fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus***. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

SILVA, C. R. **Bioatividade do óleo essencial de tomilho e do timol como fumigante no controle de *Aspergillus flavus* CCUB1405 *in vitro* e em castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) durante o armazenamento.** 2021. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

SLOWING, I.I.; VIVERO-ESCOTO, J.L.; WU, C.-W; LIN, V.S.-Y. Mesoporous silica nanoparticles as controlled release drug delivery and gene transfection carriers. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v.60, p.1278-1288. 2008.

SOARES, A.K. **Aplicação de lignina kraft para estabilização de um sistema biocida baseado em timol.** 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.; VIEIRA, A.H. **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby.** Circular Técnica, 18. Embrapa: Colombo, 12p. 2003.

SOUZA, D. B.; CARVALHO, G. S.; RAMOS, E. J. A. **Paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke.** Informativo Técnico, 13. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2p. Embrapa Amazônia Ocidental, , 2005.

SOUZA, R. V.; DEMENIGHI, A. L. Tratamentos preservantes naturais de madeiras de floresta plantada para a construção civil. **Mix Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 84-92, 2017.

SURDI, P. G. **Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação.** 2015. 201 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2015.

TEREZO, R. F. **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada.** 2010. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, RS, 2010.

TEREZO, R. F.; LOPEZ, G. C.; SAMPAIO, C. A. P.; BOURSCHEID, C. B. Resistência da madeira tratada de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) ao ataque de cupins. **Ciência da Madeira**, v.8, n.3, p.187-193, 2017.

TEREZO, R. F.; ROSA, T. O.; FURTADO, F. R. C.; AMPESSAN, C. G. M.; CUNHA, A. B.; VALLE, A. Scarf joints in glued laminated timber of paricá. **FLORESTA**, v. 51, n. 3, p. 713-720, 2020.

TROMBETTA, D.; CASTELLI, F.; SARPIETRO, M. G.; VENUTI, V.; CRISTANI, M.; DANIELE, C.; SAIJA, A.; MAZZANTI, G.; BISIGNANO, G. Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v.49, n.6, p.2474-2478, 2005.

WAN, L.; MENG, D.; WANG, H. WAN, S.; JIANG, S.; HUANG, S.; WEI, L.; YU, P. Preventive and Therapeutic Effects of Thymol in a Lipopolysaccharide-Induced Acute Lung Injury Mice Model. **Inflammation**, v.41, p.183-192, 2018.

USEPA, 2016. **Chromated Arsenicals (CCA).** Disponível em:<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/chromated-arsenicals-cca>. Acessado em: 12 jun. 2021.

U.S. **Food and Drug Administration** (FDA), 2020. Substances Added to Food (formerly EAFUS) [WWW Document]. URL <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/?set=FoodSubstances&sort=Sortterm&order=ASC&startrow=1&type=basic&search=thymol>.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I. P. Wood preservation in Brasil: historical, current scenario and trends. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257–271, 2015.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; MOULIN, J. C.; SILVA, J. G. M.; SORANSO, D. R. Physical and mechanical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. **Revista Árvore**, v.42, n.1, p.1-9, 2018.

VIVIAN, M.M.A.; GROSSKOPF, E.J. NUNES, G.C.; ITAKO, A.T.; MODES, K.S. Qualidade e eficiência de produtos naturais no tratamento preservativo das madeiras de *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus viminalis* e *Pinus taeda*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.19, n.1, 2020.

XIE, Y.; WANG, Z.; HUANG, Q.; ZHANG, D. Antifungal activity of several essential oils and major components against wood-rot fungi. **Industrial Crops and Products**, v.108, p.278–285. 2017.

YUSOH, A. S.; TAHIR, P. M.; UYUP, M. K. A.; LEE, S. H.; HUSAIN, H.; KHAIDZIR, M. O. Effect of wood species, clamping pressure and glue spread rate on the bonding properties of cross laminated timber (CLT) manufactured from tropical hardwoods. **Construction and Building Materials**, v.273, n.1, 2021.

ZABEL, R. A. Wood Microbiology. *In*: ZABEL, R.; MORREL, J. **Chemical protection of wood (wood preservation)**, v.2, p.471-515, 2020.

ZHANG, Z.; YANG, T.; MI, N.; WANG, Y.; LI, GUOYUAN, L.; WANG, L.; XIE, Y. Antifungal activity of monoterpenes against wood white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.106, p.57-160, 2016.

ZHOU, Y.; SHEN, Z.; LI, H.; LU, Y.; WANG, Z. Study on in-plane shear failure mode of cross-laminated timber panel. **Journal of Wood Science**, v.68, n.36, 2022.

## CAPÍTULO II

### TRATAMENTO PRESERVATIVO DE MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) UTILIZANDO TIMOL

**Resumo** - A madeira, pela sua constituição orgânica, é suscetível a organismos xilófagos, tornando-se essencial o tratamento preservativo àquelas que apresentam baixa durabilidade natural. Dentre os produtos utilizados como preservativo de madeira tem-se arseniato de cobre cromatado (CCA) e borato de cobre cromatado (CCB), que em razão da presença principalmente do arsênio e cromo em sua constituição são tóxicos ao meio ambiente e a saúde humana. Produtos naturais que apresentem ação biocida são uma alternativa à preservação da madeira, conferindo maior proteção e aumentando a vida útil da madeira em uso. Neste intuito, o estudo teve por objetivo avaliar a eficiência do timol, um óleo essencial, na impregnação de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke). Amostras de madeira de paricá com 40 cm x 6,65 cm x 1,6 cm (comprimento x largura x espessura), foram submetidas a três métodos de tratamentos: (I) o pincelamento (três demãos no intervalo de 24 horas entre as aplicações), (II) vaporização e difusão prolongada (III) tratamento com pressão (1 MPa) e temperatura (60 °C). Soluções contendo três concentrações de timol (1, 3 ou 5%) foram utilizadas em cada método. Após os tratamentos as amostras de madeira tratada e o controle (*in natura*) foram submetidas ao ensaio de deterioração por térmitas (*Cryptotermes brevis*). Além disso, foi realizado o ensaio de atividade antifúngica *in vitro* com os fungos de podridão branca (*Trametes versicolor*) e parda (*Gloeophyllum trabeum*). Também foi realizado o ensaio de envelhecimento acelerado nas amostras de paricá tratadas com timol, CCA e controle. Conclui-se que, o timol elevou a densidade e poder calorífico da madeira de paricá. No tratamento de pressão com 5% de timol obteve-se o maior valor de retenção (6,98 kg/m<sup>3</sup>). Além disso, dentre os três métodos de impregnação da madeira, os de difusão e pressão, foram os mais eficientes no controle do *C. brevis*. Em relação a concentração de timol, as maiores taxas de mortalidades foram encontradas para as concentrações de 3% e 5% de timol, independentemente do método de impregnação. As soluções com as três concentrações de timol tiveram resistência *in vitro* contra os fungos de podridão branca (*T. versicolor*) e podridão parda (*G. trabeum*). A maior perda de massa no ensaio de envelhecimento acelerado foi para a madeira tratada com timol.

**Palavras-chave:** Impregnação. Solução preservativa. Retenção.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira, por ser um material biológico, constituído basicamente de celulose, lignina, hemiceluloses e extrativos é susceptível à processos de decomposição ou deterioração. Os processos de biodeterioração provocados pelos agentes biológicos (fungos, bactérias, brocas, besouros, carunchos, térmitas e coleópteros) são considerados os de maior importância (MORRELL, 2006; OLIVEIRA et al., 2018).

A preservação química é uma alternativa para aumentar a vida útil e proteger o material lignocelulósico de agentes biodeterioradores. Este método é embasado na impregnação da madeira com produtos químicos, tornando-a tóxica aos organismos que à utilizam como fonte de alimento (CAVALHEIRO, 2014). Os principais produtos utilizados para evitar a degradação biológica da madeira são o arseniato de cobre cromatado - CCA e borato de cobre cromatado - CCB (GALLIO et al., 2017).

O CCA é um preservativo hidrossolúvel à base de cobre, arsênio e cromo, que confere à madeira grande proteção contra o ataque de organismos xilófagos e é indicado no tratamento de dormentes, postes, mourões, madeiras para construções residenciais e comerciais e outros locais em que há contato direto da madeira com o solo e com umidade (APPEL et al., 2006). O cobre tem ação fungicida, o arsênio tem ação inseticida e o cromo age como fixador desses elementos na parede celular da madeira (EVANGELISTA, 2011). O CCB também é um preservativo hidrossolúvel à base de cobre, cromo e boro, considerado uma alternativa ao CCA, com ausência do composto arsênio, o qual foi substituído pelo elemento boro (inseticida) (BRITO, 2017).

Entretanto, o CCA e o CCB já foram banidos de diversos países, dentre eles o Canadá e Estados Unidos, pelo alto índice de toxicidade apresentada, principalmente pelos componentes arsênio e cromo, uma possível lixiviação e volatilização dos componentes do CCA e CCB ao longo do tempo, e os riscos de contaminação do ser humano e do meio ambiente (VIDAL et al., 2015; USEPA, 2016; PENG et al., 2021). Além disso, os resíduos de materiais tratados com estes produtos químicos devem ser descartados ou incinerados em locais apropriados (GALLIO et al., 2017).

Nesse contexto, empresas e pesquisadores vêm buscando a inserção de produtos alternativos ao CCA e CCB, os quais sejam eficientes na preservação da madeira mantendo suas características tecnológicas, com baixos níveis de toxicidade ao homem e ao ambiente, e que possam ser comercializados com preços acessíveis ao mercado consumidor. Dentre as alternativas, os óleos essenciais são cada vez mais estudados, pois, são constituídos de

substâncias com ação biocida, ou seja, inibem o desenvolvimento de agentes biológicos (BALDIN et al., 2022). Estas substâncias podem ser extraídas de diferentes partes das plantas, como da casca, madeira, folhas e sementes (VIVIAN et al., 2020).

Dentre os óleos essenciais, o timol tem se destacado como um promissor biocida, pois, inibe a proliferação de fungos de podridão branca e parda (ZHANG et al., 2016; XIE et al., 2017; ESCOBAR, 2020), bactérias, mosquitos e besouros (ZAHARAN; ABDELGALEIL, 2011; MATTOS et al., 2018), além de ter atividade antitermítica (LIMA et al., 2017; SANTOS et al., 2017). O timol pode ser obtido de diferentes plantas, detacando dentre as principais espécies, o orégano mexicano, *Lippia graveolens* (GUEVARA et al., 2018), o alecrim-pimenta, *Lippia sidoides* e o tomilho, *Thymus vulgaris* (SALEHI et al., 2018).

Diante da necessidade de investigação do uso de alternativas aos produtos à base de boro e arsênio, comprovadamente nocivos ao homem e ao ambiente, o objetivo desse estudo é avaliar a eficiência do timol no tratamento preservativo de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), por meio da realização de ensaio de degradação por térmitas (*Cryptotermes brevis*), pelo teste de atividade antifúngica *in vitro* com fungos de podridão branca (*Trametes versicolor*) e podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*), além de determinar as propriedades físicas e químicas da madeira de paricá tratada com solução à base de timol.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar a eficiência do timol no tratamento preservativo de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), em relação às propriedades físicas, químicas, de resistência biológica e de resistência ao ensaio de envelhecimento acelerado.

### **2.2. Específicos**

- Determinar as propriedades químicas do timol.
- Determinar as propriedades físicas e químicas da madeira de paricá *in natura* e tratada com 1, 3 ou 5% de timol.
- Avaliar o efeito da concentração do timol na inibição do desenvolvimento de térmitas *Cryptotermes brevis* e dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

- Avaliar a combinação de tratamento (pincelamento, difusão e pressão) e concentração de timol (1%, 3% ou 5%) em relação ao ataque de térmitas *Cryptotermes brevis*.
- Avaliar o efeito do ensaio de envelhecimento acelerado na perda de massa das amostras de paricá tratadas com timol e CCA.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

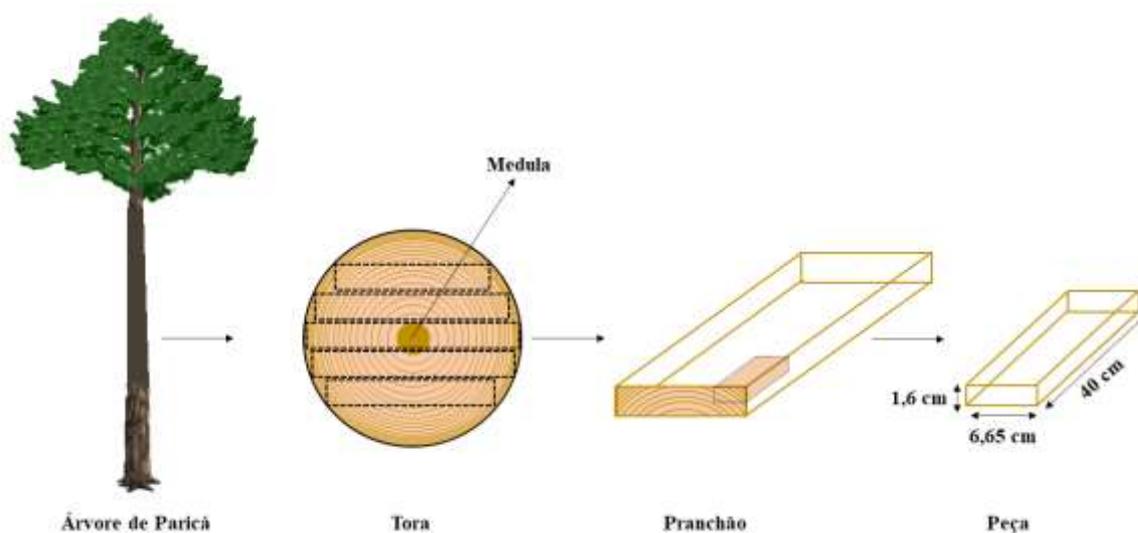
#### 3.1. Madeira

A madeira utilizada foi da espécie paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), provenientes de um plantio comercial localizado no município de Dom Eliseu, Pará, Brasil. O clima na região é classificado como mesotérmico e úmido, tipologia climática Aw (Classificação de Köppen). O solo predominante é o Latossolo Amarelo textura argilosa e o relevo plano a suavemente ondulado (VELOSO et al., 1991; SUDAM, 1993; EMBRAPA, 2013).

Nove árvores, com 7 anos de idade, foram colhidas e desdobradas em pranchões de um metro de comprimento e espessura variando de 5 a 7,5 cm. Em seguida, foram produzidas amostras de madeira com dimensão de 40 cm de comprimento, 6,65 cm de largura e 1,6 cm de espessura, eliminando-se as amostras que continham nós e rachaduras. Estas medidas foram estabelecidas com base nas dimensões do reator para o tratamento da madeira com pressão.

A árvore de paricá possui medula oca e a madeira nesta região central possui propriedades mecânicas inferiores, portanto, optou-se por eliminar as tábuas próximas a ela. Para cada tratamento preservativo (pincelamento, difusão e pressão) foram utilizadas 10 amostras, que inicialmente permaneceram em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante. Na Figura 1 são identificadas as etapas de preparo das amostras e as dimensões das amostras de madeira utilizadas.

**Figura 1** – Esquema de corte das toras de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) para a produção das amostras utilizadas nos tratamentos preservativos.



Fonte: O autor.

### 3.2. Tratamentos preservativos de madeira de paricá

Para a realização dos tratamentos preservativos com timol, utilizou-se madeira de paricá nas dimensões de 40 cm de comprimento, 6,65 cm de largura e 1,6 cm de espessura. Os tratamentos preservativos foram realizados com solução à base de timol sólido (cristal incolor) obtido comercialmente da empresa Quinarí. Além do timol, as soluções preservativas continham diferentes proporções de água, etanol e o surfactante polissorbato 20 (produto comercial Tween-20).

Inicialmente o timol foi solubilizado em etanol na proporção 1:2,32 (V/V). Após, foi adicionado a esta solução o surfactante polissorbato 20 (produto comercial Tween-20), na proporção de timol e surfactante de 1:2 (V/V). O surfactante foi adicionado à solução para melhorar a miscibilidade em água do timol, uma vez que ele tem caráter apolar. Após, esta solução foi colocada em um recipiente plástico com capacidade de 18 litros e completado o seu volume com água. Ao final foram produzidos 18 litros de solução preservativa para cada concentração de timol utilizada (1, 3 e 5%). Estas soluções foram utilizadas nos tratamentos da madeira de paricá, por meio dos métodos de pincelamento, difusão e pressão.

### **3.2.1. Tratamento da madeira de paricá por pincelamento**

Para tratar as amostras de madeira de paricá por pincelamento foi utilizado 1 litro de solução preservativa para cada concentração de timol (1, 3 e 5%). A aplicação da solução preservante nas amostras foi realizada com um pincel com cerdas macias. O procedimento de pincelamento foi repetido três vezes, no intervalo de 24 horas entre as demãos. Após todas as aplicações, as amostras foram armazenadas em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante.

### **3.2.2. Pré-tratamento com vapor, seguido de difusão prolongada**

Para este tratamento foram necessários 7 litros de solução preservativa para cada concentração de timol (1, 3 e 5%). O tratamento dos corpos de prova foi realizado em autoclave vertical e consistiu em um aquecimento em vapor a  $120^\circ\text{C}$  e pressão de 0,098 MPa por 20 minutos. Após esta etapa os corpos de prova foram submersos em um recipiente de plástico com a solução preservativa à base de timol por 24 horas. Ao fim do período de tratamento, as amostras tratadas foram armazenadas em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $60 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante.

### **3.2.3. Tratamento da madeira de paricá com pressão a quente**

Para este tratamento foram necessários 10 litros de solução preservativa para cada concentração de timol (1, 3 e 5%). As amostras de madeira de paricá juntamente com a solução preservativa à base de timol, foram inseridas em um reator Parr (Floor Stand Reactor) de 18,75 L. Após o fechamento do reator, os sistemas de aquecimento e de circulação da água foram acionados. O tempo de residência foi de 120 minutos, contabilizado a partir do momento em que a temperatura de  $60^\circ\text{C}$  foi atingida e a pressão utilizada foi de 1 MPa para todos os tratamentos.

Ao final deste tempo de permanência no reator, o aquecimento e a circulação foram desligados e a pressão interna do reator reduzida a zero por meio de uma válvula de escape conectada ao sistema de resfriamento, pela qual era possível a remoção e condensação controlada dos vapores oriundos da solução impregnante. Em seguida, o reator foi aberto e as amostras de madeira tratadas foram removidas e armazenadas em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $60 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante.

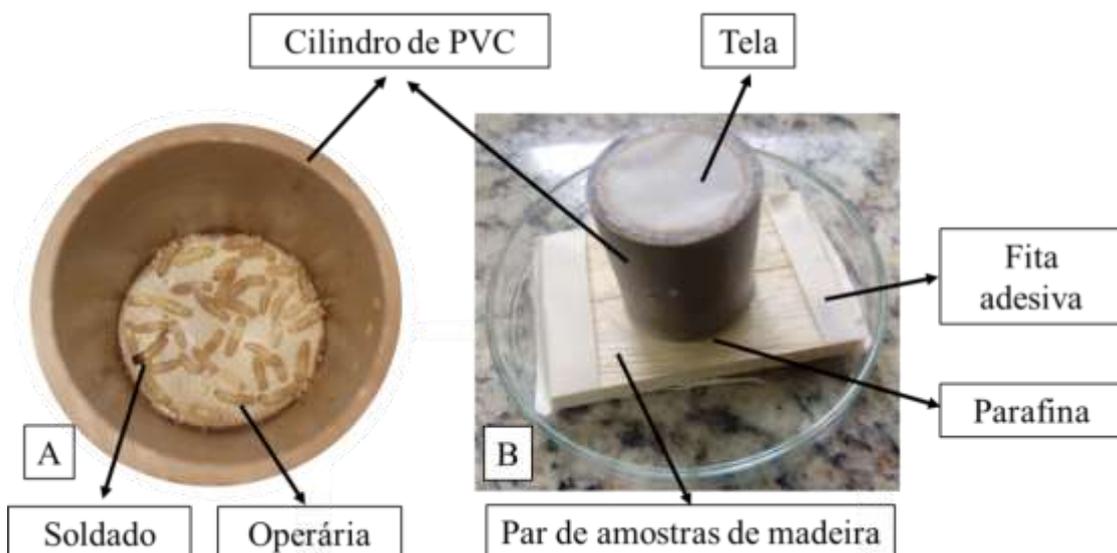
### 3.3. Ensaio de resistência à deterioração por cupim de madeira seca

O ensaio foi conduzido segundo o método descrito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo IPT 1157 (1980). Foram utilizadas 12 repetições para cada tratamento e os corpos de prova foram agrupados dois a dois formando seis conjuntos.

Para cada tratamento, foram utilizadas amostras de madeira de paricá com dimensões de  $2,3 \times 0,6 \times 7,0$  cm (radial x tangencial x longitudinal), sendo a maior dimensão correspondente ao sentido longitudinal, paralela à grã da madeira, tratadas com solução à base de timol e o controle (*in natura*). Antes do ensaio as amostras permaneceram em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante.

Os cupins *Cryptotermes brevis* (Walker) jovens, saudáveis e não alados foram coletados manualmente de móveis colonizados. Após, foram colocados 39 operários e um soldado dentro de um cilindro de PVC, com 35 mm de diâmetro interno e 40 mm de altura, vedado com uma tela para permitir as trocas gasosas com o meio ambiente. Após, os cilindros foram colados com auxílio de parafina as amostras de madeiras unidas aos pares com fita adesiva, conforme ilustrado na Figura 2.

**Figura 2** – Esquema de montagem do experimento: (A) Vista superior do cilindro de PVC evidenciando a presença dos 39 cupins da classe operária e de um soldado. (B) Componentes do ensaio de resistência biológica ao ataque de cupins.



Fonte: O autor.

O experimento foi mantido em laboratório, com temperatura e umidade relativa do ambiente de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $65\% \pm 5\%$ , respectivamente. Ao final do experimento, foram obtidas a taxa de mortalidade dos cupins, número de orifícios e o dano avaliado por quatro examinadores, por meio de nota que varia de 0 a 4: como (0) a amostra que não teve nenhum dano superficial, (1) dano superficial, (2) dano moderado, (3) dano acentuado e (4) dano profundo (IPT, 1980). Também foi determinada a porcentagem de galeria presentes nos corpos de prova causadas pelos cupins *Cryptotermes brevis*, conforme Equação 1.

$$\text{Galerias (\%)} = \left( \frac{NG}{NT} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que:

NG = Somatório do número de corpos de prova que apresentaram galerias do tratamento.

NT: Número total de corpos de prova do tratamento.

### 3.4. Ensaio de atividade fúngica do timol *in vitro*

O fungo de podridão branca (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd. (Mad-697)) e o de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum* (Mad-617)) foram utilizados para avaliar a atividade antifúngica das diferentes soluções à base de timol.

Inicialmente o timol sólido foi solubilizado em etanol na proporção 1:2,32 (V/V), e devido ao caráter apolar do timol foi necessário adicionar à solução o surfactante polissorbato 20 (produto comercial Tween-20) na proporção de timol e surfactante de 1:2 (V/V), para melhorar a miscibilidade em água do timol. Após, esta solução foi colocada em um recipiente plástico com capacidade de 100 ml e completado o seu volume com água. Ao final foram produzidos 100 ml de solução preservativa para cada concentração de timol, a saber: 1, 3 e 5%.

As três soluções preservativas foram misturadas ao meio de cultura BDA (batata, dextrose, ágar) para avaliar a concentração mínima inibitória para o desenvolvimento de cada fungo. A quantidade de BDA utilizada foi constante, de acordo com especificações do fabricante. Posteriormente, o BDA com cada amostra mais o controle (composto por etanol, surfactante e água) foram distribuídos em placas de petri, em triplicata.

A etapa seguinte foi a de repicagem dos fungos com diâmetro de 5mm para cada placa, após foram acondicionadas a uma temperatura de  $26 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $70 \pm 4\%$ . A avaliação da capacidade inibitória das amostras foi realizada pela avaliação visual diária do

crescimento dos fungos, até que aqueles presentes na placa controle colonizasse completamente o meio de cultura.

### 3.5. Ensaio de envelhecimento acelerado

No ensaio de envelhecimento acelerado foram utilizadas amostras de madeira de paricá com dimensões de 10 cm de comprimento, 5 cm de largura e 2 cm de espessura tratadas com soluções à base de timol e com o CCA (arseniato de cobre cromatado). O tratamento com CCA teve como objetivo avaliar os resultados de perda de massa de amostras tratadas com um produto de origem natural (timol) e compará-los às amostras tratadas com produto comercial mais utilizado para essa finalidade.

O tratamento com o CCA foi realizado em autoclave industrial, com diâmetro de 0,80 m e comprimento de 5,00 m, pelo método de célula cheia, com sistema duplo-vácuo. O preservativo usado foi o arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C), de ação fungicida e inseticida, na concentração de 2 % de ingredientes ativos. O processo de tratamento de madeira consistiu de um vácuo inicial de 30 minutos a 560 mmHg, seguido de 90 minutos de pressão de impregnação do produto a 12 kgf/cm<sup>2</sup>, seguido de um vácuo final de 15 minutos a 560 mmHg (VALLE et al., 2013).

Após o tratamento os corpos de prova permaneceram secando em local coberto por 60 dias, em seguida foram secas em estufa com circulação de ar forçada com temperatura de 60°C para o ajuste de umidade até 12%.

O ensaio de envelhecimento acelerado foi realizado em câmara de intemperismo, equipamento projetado para a realização de ensaios envolvendo ciclos combinados com luz ultravioleta A e B, (UVA ou UVB) e unidade saturada (condensação) ou simulação solar (por lâmpada de xenônio), tendo como objetivo provocar a degradação acelerada de diversos materiais orgânicos e revestimentos de plásticos. A câmara possui duas janelas de exposição localizadas em lados opostos para disposição do material a ser analisado (ANDRADE, 2021). O envelhecimento acelerado foi realizado em câmara de intemperismo modelo BASS – UUV/2019 (Brasil), conforme Figura 3.

**Figura 3** – (A) Câmara de intemperismo acelerado BASS-UUV; (B) disposição dos corpos de prova no interior do equipamento; (C) placas metálicas com fixação dos corpos de prova



Fonte: O autor.

Os corpos de prova foram inicialmente permaneceram em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , e após expostos em ciclos de radiação com 8h de exposição em luz e 4h de condensação, com umidade e temperatura controlados de acordo com o estipulado pelo ciclo 4, contido na ASTM G 154 (2016). O ciclo total de exposição foi de 384 horas, totalizando 32 ciclos completos de 12 horas cada.

Ao término do experimento, as amostras foram acondicionadas novamente em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante e pesadas para calcular a perda de massa após o ensaio.

### **3.6. Propriedades da madeira de paricá**

A densidade aparente foi determinada com os valores de massa e volume das amostras na umidade de equilíbrio higroscópico, sendo o volume obtido pelo método de imersão em mercúrio descrito por Vital (1984).

A permeabilidade da madeira *in natura* ao ar atmosférico foi determinada pelo método do fluxômetro adaptado de De Oliveira (2015). Foram retirados os corpos de prova no formato cilíndrico em uma furadeira vertical acoplada com serra copo. A face superior e inferior das amostras com dimensões de 5 cm de comprimento e 1,3 cm de diâmetro foram limpas com estilete para desobstrução dos elementos anatômicos. A face longitudinal foi impermeabilizada com parafina para impedir a infiltração de ar.

O equipamento utilizado para o ensaio da permeabilidade ao ar atmosférico era dotado de quatro rotômetros conectados em série nas seguintes escalas e sequência: 0,04 a 0,5 LPM

(litros por minuto); 0,2 a 2,5 LPM; 0,4 a 5,0 LPM e 2,0 a 25,0 LPM, conectados a uma bomba a vácuo, as amostras foram encaixadas em mangueira de 1,5 cm de diâmetro ajustada com abraçadeira de metal, e os dados de vazão e pressão de saída coletados. A leitura de vazão de ar foi obtida pelo rotâmetro de menor escala e, quando não foi possível a leitura neste, prosseguia-se para o subsequente até que a leitura fosse obtida (OLIVEIRA, 2015). A permeabilidade das amostras de madeira foi calculada empregando-se a lei de Darcy, conforme descrito na Equação 2.

$$K = \frac{Q \cdot L \cdot P_i}{A \cdot \Delta P \cdot P_m} \quad (2)$$

Em que:

K = permeabilidade (cm<sup>3</sup>.cm/atm.s).

Q = vazão (cm<sup>3</sup>/S).

L = comprimento da madeira na direção do fluxo (cm).

A = seção transversal da madeira perpendicular à direção do fluxo (cm<sup>2</sup>).

ΔP = diferencial de pressão (atm./cm<sup>2</sup>).

O poder calorífico superior das amostras de paricá *in natura* e tratadas foi obtido de acordo com a EN 14918 (DIN, 2010), em uma bomba calorimétrica adiabática IKA300®.

A tomografia de raios-X dos corpos de prova utilizados no ensaio de biodeterioração por térmitas foi realizada com o equipamento digital Faxitron HP modelo LX-60 na intensidade de 45 kV. As imagens foram obtidas da superfície longitudinal às fibras dos corpos de prova climatizados em temperatura de 20 ± 3°C e umidade relativa de 65 ± 5%, até atingirem massa constante (SILVA, 2019).

O cálculo da retenção do produto foi realizado pela diferença de massa das madeiras antes do tratamentos pela massa após os tratamentos dividido pelo volume da amostra tratada, e, em ambos os casos as amostras haviam permanecido em sala climatizada com temperatura de 20 ± 3°C e umidade de 65 ± 5%, até atingirem massa constante. A retenção foi estimada de acordo com a metodologia descrita por Vivian et al. (2022), conforme a Equação 3.

$$RET = \frac{(Mf) - (Mi)}{V} \quad (3)$$

Em que:

RET= retenção (kg/m<sup>3</sup>).

Mi = massa inicial (kg).

Mf = massa final (kg).

V = volume (m<sup>3</sup>).

### 3.7. Propriedades do Timol

A caracterização estrutural do timol foi realizada por meio de espectroscopia de infravermelho - FTIR, RMN de <sup>1</sup>H e <sup>13</sup>C e espectrometria gasosa de massas CG-EM.

Os espectros no infravermelho foram obtidos em espectrofotômetro FTIR Varian 660 equipado com GladiATR. Os valores foram expressos em números de onda (cm<sup>-1</sup>) e registrados no intervalo de 4000 – 400 cm<sup>-1</sup> (PAIVA, 2018).

Os espectros de ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN de <sup>1</sup>H – 300 MHz) foram obtidos em espectrômetro Varian Mercury 300 MHz. Os deslocamentos químicos foram registrados em ppm, tomando-se como padrões de referência interna o sinal do clorofórmio ( $\delta$ CHCl<sub>3</sub> 7,26 ppm). Os sinais foram caracterizados como simpleto (s), duplete (d), tripleto (t), multiplete (m), duplo duplete (dd) e triplo duplete (td) (PAIVA, 2018).

Os espectros de massas foram obtidos em um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas (CG-EM) SHIMADZU modelo CG 17A-QP5000 (PAIVA, 2018).

O poder calorífico superior do timol foi obtido de acordo com a EN 14918 (DIN, 2010), em uma bomba calorimétrica adiabática IKA300<sup>®</sup>.

O pH das soluções utilizados no ensaio de atividade fúngica foi determinado utilizando um pHmetro digital, a temperatura de 25°C, calibrado a pH 4 e 7, utilizando-se soluções tampão padronizadas (ASTM, 2015).

### 3.8. Delineamento experimental

Este trabalho foi dividido em quatro experimentos, com Delineamentos Inteiramente Casualizados (DIC), conforme descrito a seguir:

#### *1) Tratamento da madeira*

Este experimento foi instalado para uma análise fatorial completa, com três concentrações de timol (1, 3 e 5%) e a testemunha (*in natura*), três métodos de tratamento da madeira (pincelamento, difusão e pressão) e 10 repetições, totalizando 100 análises.

## *II) Ensaio de resistência à deterioração por cupins de madeira seca*

Foi instalado para uma análise fatorial completa, com três concentrações de timol (1, 3 e 5%), além da testemunha, três métodos de tratamento da madeira (pincelamento, difusão e pressão) e 12 repetições, totalizando 120 análises.

## *III) Ensaio de atividade fúngica in vitro*

Foi instalado para uma análise fatorial completa, sendo avaliados três concentrações de timol (1, 3 e 5%) e o branco (sem timol), dois tipos de fungos (podridão branca e podridão parda) e 3 repetições, totalizando 24 análises.

## *IV) Ensaio de envelhecimento acelerado*

Para as análises envelhecimento acelerado, foi utilizado um arranjo fatorial completo, sendo avaliados o efeito da concentração do timol (1, 3 e 5%) e tipo de tratamento (pincelamento, difusão e pressão), além da madeira *in natura* e tratada com CCA, foram utilizadas 5 repetições, totalizando 55 análises.

Para todas as análises, atendida a pressuposição de normalidade e homogeneidade das variâncias, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Também foi realizado o desdobramento dos graus de liberdade, avaliando a influência de cada tratamento na variável resposta, de forma independente e em conjunto, após observadas diferenças significativas, procedeu-se o teste de média Tukey, a 95% de probabilidade. A fim de verificar a existência de diferença entre os tratamentos com madeira tratada e a *in natura* foi realizado teste Dunnett, 95% de probabilidade, ambos no software Statistica Statsoft 7.0.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Propriedades da madeira *in natura* e tratada**

A permeabilidade média da madeira de paricá foi de 911,68 cm<sup>3</sup>.cm/atm.s. Segundo Rosa (2006), o elevado volume de poros justifica sua elevada permeabilidade, além disso, favorece a impregnação de preservantes na madeira.

Os valores médios da densidade das madeiras tratadas e controle (*in natura*) encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1** – Densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>) das madeiras de paricá em função dos tratamentos e concentração do timol

Concentrações de timol (%)	Tratamentos		
	Pincelamento	Difusão	Pressão
1	401,20 <sup>(0,11)</sup>	404,31 <sup>(0,03)</sup>	403,69 <sup>(0,11)</sup>
3	406,00 <sup>(0,16)</sup>	410,57 <sup>(0,07)*</sup>	416,82 <sup>(0,04)*</sup>
5	415,76 <sup>(0,03)*</sup>	424,58 <sup>(0,07)*</sup>	440,16 <sup>(0,07)*</sup>
<b>Controle</b>	380,45 <sup>(0,06)</sup>		

Fonte: O autor. Médias assinaladas com (\*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ). Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

Não foram observadas diferenças significativas entre as madeiras tratadas com solução à base de timol. Contudo, através do teste Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ), indicam diferença significativa destes tratamento em relação a madeira *in natura* (controle).

No tratamento da madeira de paricá por pincelamento, pode-se observar que apenas para a concentração de 5% de timol observou-se diferença de densidade em relação à madeira *in natura*. Já para os tratamentos por difusão e pressão houve diferença em relação à madeira *in natura* para as concentrações de 3 e 5% de timol. Provavelmente, estes resultados são causados pela impregnação do timol na madeira. O timol é um óleo essencial, com densidade de 975 kg/m<sup>3</sup> e, pelo ancoramento superficial e penetração deste produto na madeira, ele interferiu positivamente na densidade (MACIEL, 2014).

Nota-se que para todos os métodos de tratamento utilizados, o maior acréscimo em densidade foi para a concentração de 5% de timol, sendo alcançado um aumento de 9,3; 11,6 e 15,7%, para o tratamentos de pincelamento, difusão e pressão, respectivamente.

Dentre as três metodologias de aplicação do timol, no método de pressão observou-se o maior valor de densidade. Isto está associado ao tipo de método preservativo empregado (pressão) e alta permeabilidade da madeira de paricá (911,68 cm<sup>3</sup>/cm.atm.s). Os métodos de tratamento sob pressão são os mais eficientes no tratamento de madeira, pois garantem maior eficiência e homogeneidade na impregnação e distribuição dos preservativos da madeira (EVANGELISTA, 2011). Além disso, a alta permeabilidade da madeira de paricá facilita a penetração da solução preservativa para no interior da amostra (TELES et al., 2016; MONTEIRO et al., 2017).

Na Tabela 2 são apresentados os valores de poder calorífico obtidos para os tratamentos. Observa-se que os valores variaram entre 4084 e 4287 kcal/kg, de modo geral, os maiores valores de poder calorífico foram para os tratamentos com 5% de timol.

**Tabela 2** – Valores de poder calorífico (kcal/kg) da madeira para os tratamentos e concentração de timol

Concentrações de timol (%)	Tratamentos		
	Pincelamento	Difusão	Pressão
1	4084,26 <sup>(23,89)</sup> bA	4120,09 <sup>(11,04)</sup> bB	4239,51 <sup>(11,14)</sup> aA*
3	4132,03 <sup>(23,08)</sup> aA	4191,75 <sup>(11,09)</sup> aB*	4179,80 <sup>(23,01)</sup> aA*
5	4167,86 <sup>(35,82)</sup> bA*	4287,28 <sup>(11,94)</sup> aA*	4251,50 <sup>(23,12)</sup> aA*
Testemunha	4050,93 <sup>(0,02)</sup>		

Fonte: O autor. Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo tratamento, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ). Médias assinaladas com (\*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ). Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

De modo geral, a presença do timol elevou o poder calorífico superior da madeira tratada em relação a madeira *in natura*, isto pode ser explicado pela presença do timol na amostras. O poder calorífico superior do timol utilizado nos tratamentos foi de 9.707 kcal/kg. Em termos práticos, o ideal é que a solução preservativa eleve o menos possível o poder calorífico superior da madeira, uma vez que, esta propriedade tem correlação positiva com a inflamabilidade do material (VASCONCELOS, 2019). Contudo, os valores de poder calorífico superior das amostras de madeira de paricá tratadas com solução à base de timol ficaram inferiores aos encontrados para a madeira de paricá *in natura* no estudo de Vidaurre et al. 2012.

Observa-se que o tratamento de pincelamento, apenas na concentração de 5% foi superior significativamente à testemunha. Além disso, não houve diferença significativa entre as concentrações de timol. Segundo Baldin et al. (2020), a técnica de tratamento por pincelamento, apesar de simples e com custo relativamente baixo, tem como desvantagens a baixa capacidade de impregnação da madeira. Provavelmente, pouco timol penetrou na madeira, e, portanto, não influenciou significativamente o poder calorífico superior da madeira de paricá.

Para o tratamento de difusão, apenas a concentração de 1% de timol não diferiu significativamente da madeira *in natura*, isto provavelmente, foi causado pela baixa concentração do preservativo que efetivamente foi absorvida pela madeira. Porém, nota-se que o aumento da concentração do timol de 3% para 5% ocasionou o aumento significativo do poder calorífico superior. Segundo Paes et al. (2014), a penetração e a distribuição do preservativo pelo material é influenciada pelo método de preservação, além disso, o aumento da concentração do preservativo melhora a sua distribuição e acúmulo no material tratado.

De maneira geral, no tratamento preservativo por pressão observou-se os maiores valores para a propriedade de poder calorífico superior, entretanto, não foi observado diferença

significativa entre as concentrações de timol. Segundo Evangelista (2011), a utilização de pressão durante o tratamento preservativo favorece a penetração e distribuição do produto químico na madeira, o que pode ter favorecido ao aumento do poder calorífico superior das amostras tratadas. Na Tabela 3 são apresentados os valores de retenção ( $\text{kg/m}^3$ ) do timol para os tratamentos.

**Tabela 3** – Retenção média ( $\text{kg/m}^3$ ) do timol para os tratamentos e concentração de timol

Concentrações de timol (%)	Tratamentos		
	Pincelamento	Difusão	Pressão
1	2,58 <sup>(0,69)</sup> bB	4,68 <sup>(0,56)</sup> aB	5,41 <sup>(2,30)</sup> aB
3	3,96 <sup>(0,85)</sup> bAB	4,71 <sup>(0,80)</sup> aAB	5,78 <sup>(0,98)</sup> aAB
5	4,47 <sup>(2,01)</sup> bA	5,61 <sup>(0,94)</sup> aA	6,98 <sup>(0,87)</sup> aA

Fonte: O autor. Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo tratamento, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ). Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

Para os três métodos de tratamento da madeira (pincelamento, difusão e pressão), o aumento da concentração do timol proporcionou de forma significativa o aumento da retenção do produto. Segundo Evangelista (2011) e Paes et al. (2014), em geral, o aumento da concentração do princípio ativo aumenta os níveis de retenção e distribuição do preservativo na madeira.

No método de pincelamento, observou-se menor eficiência na retenção do timol, quando comparado ao difusão e pressão. O pincelamento é um dos processos de tratamento mais simples disponíveis, podendo ser realizado com preservativos hidrossolúveis ou oleossolúveis de baixa viscosidade aplicados diretamente na superfície da madeira. Entretanto, a penetração do produto raramente ultrapassa poucos milímetros (1 - 2 mm), dificultando a retenção do produto. Além disso, qualquer movimentação da madeira provocará a ruptura da camada protetora e sua consequente exposição (BALDIN et al., 2020).

No método de difusão a retenção máxima foi de  $5,61 \text{ kg/m}^3$  para a concentração de 5% de timol. A etapa de aquecimento da madeira de paricá seguida da imersão nas soluções preservativas favoreceu a penetração do timol na madeira, além disso, a permeabilidade da madeira de paricá contribuiu para a retenção neste processo de tratamento.

Dentre os métodos, no tratamento preservativo com pressão observou-se os melhores resultados para a propriedade de retenção, tendo valor máximo de  $6,98 \text{ kg/m}^3$ . Segundo Evangelista (2011), os tratamentos preservativos de madeiras podem ser realizados de diversas

formas, sendo os métodos sob pressão os mais eficientes, pois garantem maior eficiência na retenção e homogeneidade na impregnação e distribuição dos preservativos da madeira.

No Brasil não existem normativas que especificam os valores mínimos de retenção para preservativos de madeira de origem vegetal. A normativa NBR 16143 (ABNT, 2013) estipula os valores mínimos de retenção recomendados na madeira tratada com e sem pressão para os principais produtos químicos encontrados no mercado, de acordo com sua condição de uso. Comparando os valores deste trabalho com os estipulados pela NBR 16143 (ABNT, 2013), no geral, os valores de retenção ficaram próximos aos exigidos para as categorias 1 (madeira está inteiramente protegida das intempéries e não sujeita à reumidificação), 2 (madeira está inteiramente protegida das intempéries, mas sujeita à reumidificação ocasional) e 3 (madeira não está protegida das intempéries ou está, mas sujeita à reumidificação frequente).

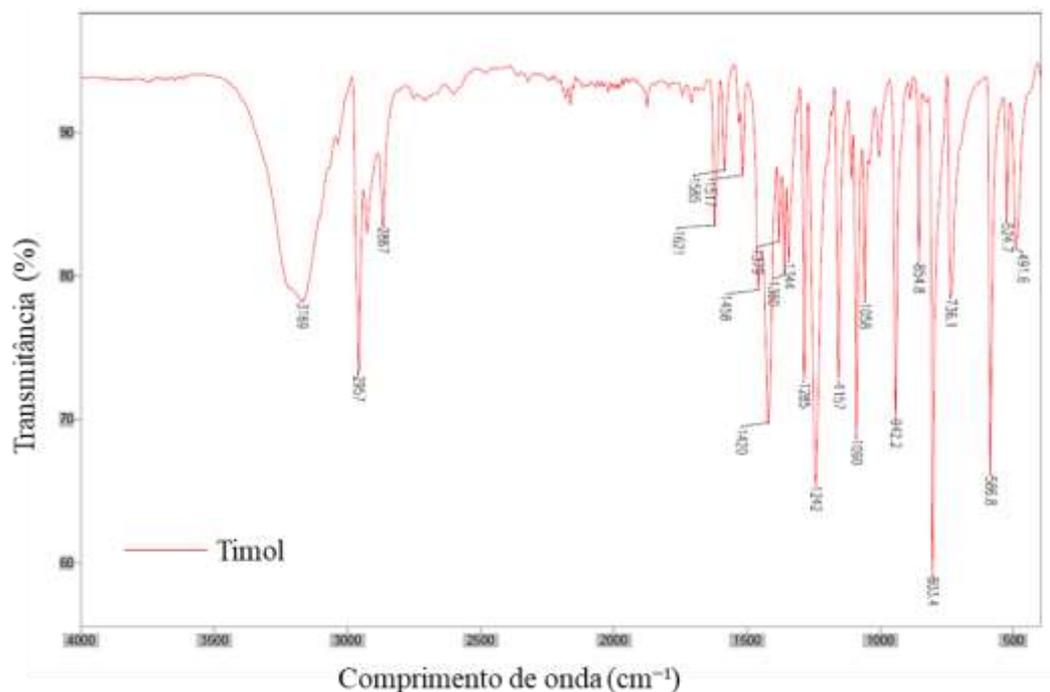
Considerando a NBR 9480 (ABNT, 2009), que determina os valores mínimos de retenção exigidos para CCA e CCB em peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais, no geral, a maioria dos tratamentos teve retenção mínima exigida para categoria de peças suspensas sem contato com o solo ( $4 \text{ kg/m}^3$ ). Entretanto, o tratamento com pressão e 5% de timol teve a retenção superior ao exigido para a categoria de peças em contato com o solo ( $6,5 \text{ kg/m}^3$ ).

## **4.2. Propriedades do timol**

### **4.2.1. Espectroscopia FTIR**

Na Figura 4 é apresentado o espectro FTIR do timol comercial utilizado, evidenciando as principais bandas características da molécula.

**Figura 4** – Espectro FTIR da amostra controle de timol.



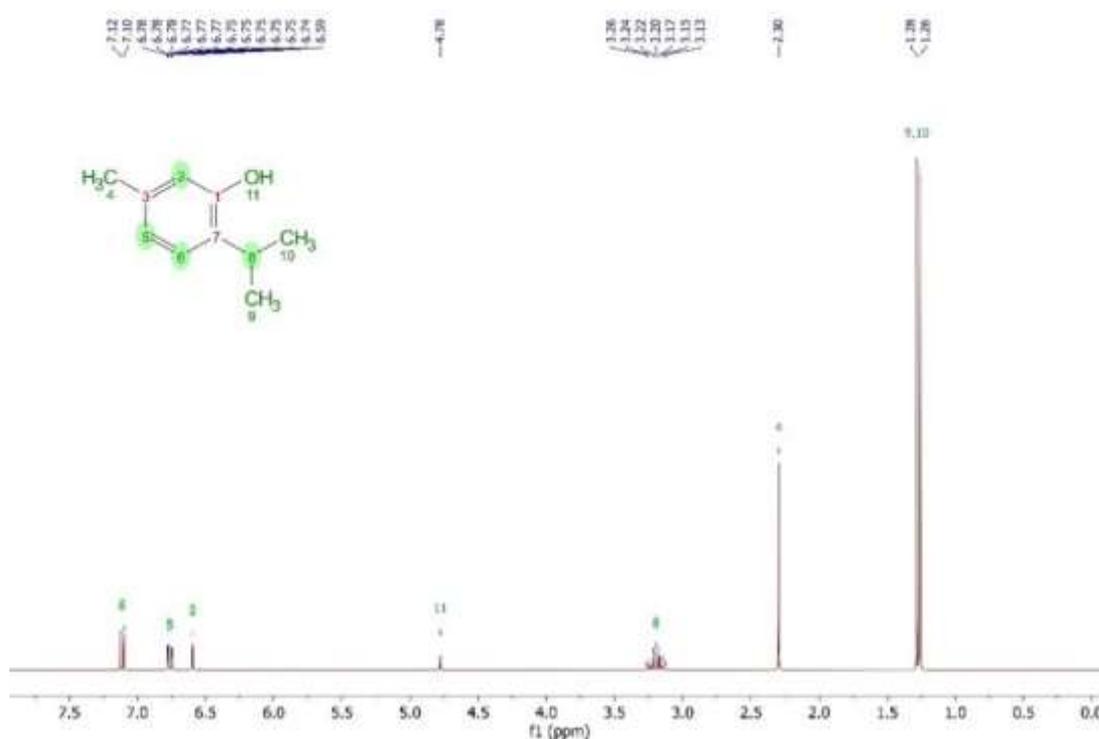
Fonte: O autor.

No espectro de FTIR do timol observa-se banda de vibração entre  $3500\text{ cm}^{-1}$  e  $3100\text{ cm}^{-1}$ , atribuída ao alongamento das ligações OH em grupos fenólicos, conforme Figura 4. Observa-se no espectro uma banda de estriamento assimétrico e simétrico no grupo metil ( $\text{CH}_3$ ) em  $2957\text{ cm}^{-1}$  e  $2867\text{ cm}^{-1}$ , respectivamente (MORENT et al., 2008). O estiramento característico na ligação C=C de anéis aromáticos foi observado em  $1621\text{ cm}^{-1}$ ,  $1517\text{ cm}^{-1}$  e  $1420\text{ cm}^{-1}$ . A banda em  $1344\text{ cm}^{-1}$  foi atribuída à flexão OH no grupo fenólico. A banda  $1242\text{ cm}^{-1}$  foi atribuída ao estiramento C-O do fenol (HOSSEINI et al., 2016; MENDES et al., 2018). Flexão no plano C-H foi observada em  $1090\text{ cm}^{-1}$ . A banda  $803,4\text{ cm}^{-1}$  foi atribuída a vibrações de oscilação C-H aromáticas fora do plano (JUNG et al., 2018).

#### 4.2.2. Espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN)

Na Figura 5 é apresentado o espectro de RMN de hidrogênio, em que cada pico corresponde a um hidrogênio presente na molécula do timol.

**Figura 5** – Espectro de RMN de  $^1\text{H}$  NMR (300 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  7.11 (d, 1H, H6), 6.78-6.74 (m, 1H, H5), 6.59 (s, 1H, H2), 4.78 (s, 1H, H11), 3.20 (septeto, 1H, H8), 2.30 (s, 3H, H4), 1.28 (s, 3H, H9), 1.26 (s, 3H, H10).



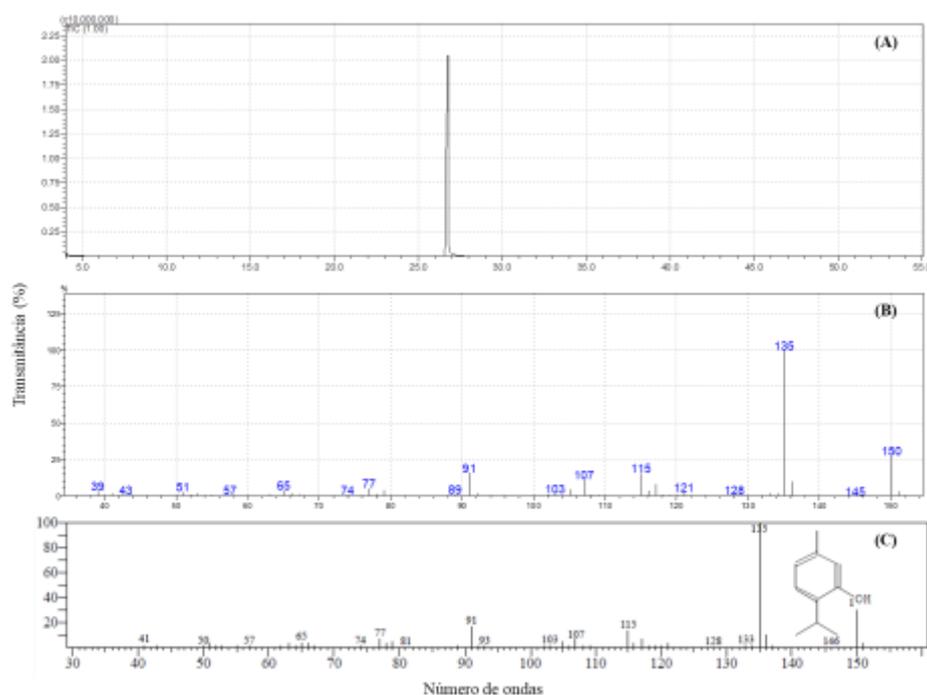
Fonte: O autor.

No espectro de RMN do timol é possível observar um multipeto em  $\delta$  6.78-6.74, integrado para um hidrogênio, que foi atribuído ao H-5. Os sinais duplos duplete em  $\delta$  7.11, integrado para um hidrogênio. Não foram observados sinais na forma de tripletos e por fim, na região de hidrogênios aromáticos, o sinal em  $\delta$  6,5-7,3, observado como dois simples atribuído aos H-1 e 3 (MESQUITA, 2017).

#### 4.2.3. Espectro de massas (CG-EM) para o timol

Na Figura 6 é apresentado o resultado obtido pelo cromatograma, que fornece os espectros de massas da amostra.

**Figura 6** – Espectro no IV (reflectância) da amostra analisada e da molécula padrão de timol



Fonte: O autor.

Observou-se apenas um pico predominante no espectro de massas da amostra, isto indica que a amostra possui apenas um composto e com um elevado grau de pureza (Figura 6A). Para identificar o composto presente na amostra foi necessário analisar o espectro de massas do pico que se destacou. Para isto foi realizado um comparativo do espectro da amostra (Figura 6B), com o espectro de uma amostra pura de timol presente no banco de dados do equipamento (Figura 6C). Pelo comparativo dos gráficos pode-se inferir que o composto analisado é o timol e com alta pureza ( $\geq 97\%$ ). Além disso, de acordo com o espectro de massas (CG-EM) pôde observar a presença do íon molecular (último pico do gráfico) no valor de 150 (Figura 6B), este valor representa a massa molar do timol.

### 4.3. Ensaio biológicos

#### 4.3.1. Ensaio de resistência a térmitas

Os resultados de resistência biológica ao ataque de cupins de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) do controle (*in natura*) e das madeiras tratadas com solução à base de timol, nas concentrações de 1, 3 ou 5%, por pincelamento, difusão e pressão, são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Resistência biológica ao ataque de cupins da madeira de paricá *in natura* (controle) e tratadas com timol

Tratamentos	Concentração de Timol (%)	Parâmetro		
		Número de Orifícios	Dano	Galerias (%)
Pincelamento	1	7,0 <sup>(0,89)</sup> a	3,2 <sup>(0,55)</sup> a	80 <sup>(0,45)</sup> a*
	3	5,0 <sup>(1,10)</sup> b*	2,5 <sup>(0,75)</sup> ab*	50 <sup>(0,55)</sup> c*
	5	4,0 <sup>(1,79)</sup> b*	2,0 <sup>(0,52)</sup> b*	67 <sup>(0,52)</sup> b
Difusão	1	7,0 <sup>(0,63)</sup> a	2,0 <sup>(1,17)</sup> b*	50 <sup>(0,55)</sup> c*
	3	1,0 <sup>(0,00)</sup> c*	1,0 <sup>(0,00)</sup> c*	0 <sup>(0,00)</sup> e*
	5	0,0 <sup>(0,00)</sup> d*	0,0 <sup>(0,00)</sup> d*	0 <sup>(0,00)</sup> e*
Pressão	1	2,0 <sup>(0,89)</sup> c*	2,0 <sup>(0,82)</sup> b*	17 <sup>(0,00)</sup> d*
	3	1,0 <sup>(0,82)</sup> c*	1,0 <sup>(0,41)</sup> c*	0 <sup>(0,00)</sup> e*
	5	1,0 <sup>(1,33)</sup> c*	1,0 <sup>(0,84)</sup> c*	0 <sup>(0,00)</sup> e*
<b>Controle</b>	0	6,0 <sup>(0,75)</sup>	4,0 <sup>(0,89)</sup>	67 <sup>(0,52)</sup>

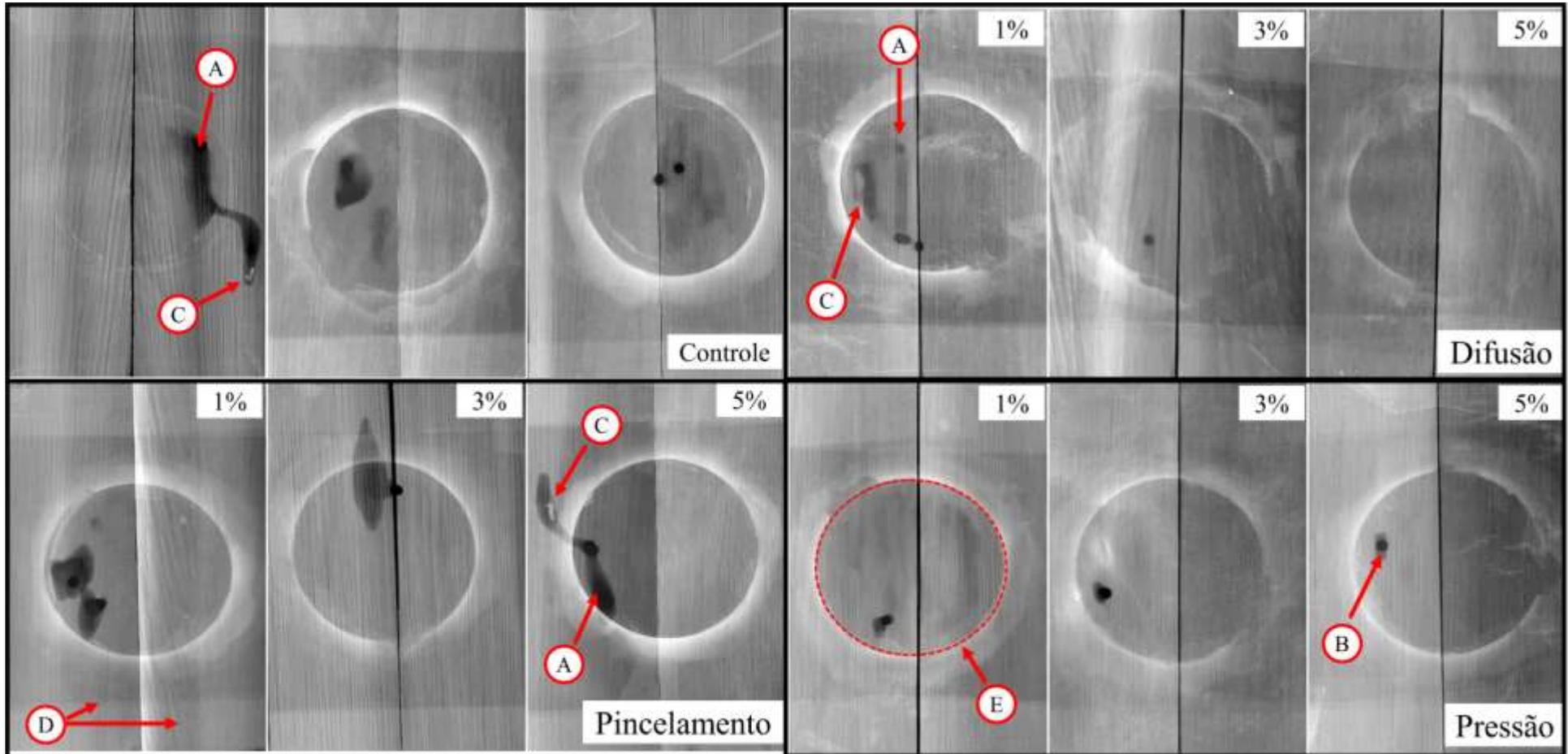
Fonte: O autor. Médias seguidas da mesma letra minúscula, para o mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ). Médias assinaladas com (\*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ). Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

No geral, o aumento na concentração do timol promoveu a redução no número de orifícios, danos causados pelos cupins e na porcentagem de galerias. Segundo Paes et al. (2014), o aumento da concentração do princípio ativo na solução preservativa tende a aumentar os níveis de retenção e distribuição do preservativo na madeira. O tratamento de pincelamento teve os maiores valores para o dano e para o número de orifícios. Isto é causado pela penetração do preservativo que raramente ultrapassar 1 a 2 mm, afetando negativamente a eficiência no combate dos cupins (BALDIN et al., 2020).

No tratamento de difusão não foram observados a ocorrência de orifícios, danos e galerias nas concentrações de 3 e 5% de timol. O aquecimento em vapor seguido da imersão nas soluções preservativas, tende a favorecer o acúmulo do timol em camadas superficiais (2 - 4 mm), local onde inicialmente ocorre o ataque dos cupins, portanto, inibindo a degradação da madeira por esse insetos. O tratamento de pressão teve elevada eficiência na redução de danos e no número de orifícios causados pelos cupins. Segundo Oliveira (2016), os tratamentos com pressão são considerados os mais eficientes no controle de organismos xilófagos, pela melhor penetração e distribuição do produto na peça. Além disso, madeiras tratadas por esses métodos poderão ser submetidas às condições de utilização em ambientes com alta incidência de ataques de organismos xilófagos.

O aspecto visual das imagens de raios X das amostras de paricá após o ensaio de resistência a térmitas, são apresentados na Figura 7.

**Figura 7** – Imagens digitais de raios X das amostras tratadas e do controle (*in natura*): (A) galerias presentes nos corpos de prova; (B) Orifícios causados pelos cupins; (C) indivíduos de *Cryptoterme brevis* dentro dos corpos de prova; (D) unidade experimental constituída por um par de amostras; (E) Área de delimitação do cilindro de PCV.



Fonte: O autor

Na madeira de paricá *in natura* o dano é considerado acentuado (nível 4), com presença de orifícios que ultrapassam a espessura da amostra, galerias e cavidades superficiais (Figura 7). Terezo et al. (2017) avaliando a resistência do paricá ao ataque de cupins *Cryptotermes brevis* verificou que tanto a madeira de cerne como do alburno não tratados, são significativamente suscetíveis ao ataque dos cupins.

Para as amostras tratadas pelo método de pincelamento com concentrações de timol de 1, 3 e 5% os níveis de dano também foram elevados, com orifícios, galerias por toda extensão dos corpos de prova, além disso, com presença de indivíduos dentro das galerias (Figura 7). Provavelmente, este tratamento teve baixo poder de penetração e distribuição do timol, o que permitiu que os cupins penetrassem nas amostras e formassem as galerias.

Nas amostras tratadas por difusão e pressão, houve a ocorrência de perfurações, danos (nível 2) e cavidades superficiais apenas para a concentração de 1% de timol, Figura 7. Para a concentração de 3 e 5% de timol o nível de dano foi moderado ou ausente, com poucos orifícios e ausência de galerias nos corpos de prova, conforme ilustrado na Figura 7.

Considerando a concentração de 5% de timol, nota-se que para o tratamento de difusão não houve a ocorrência de danos superficiais, já para o tratamento de pressão apesar da ocorrência de perfuração, os danos foram leves (nível 1) e com ausência de galerias, Figura 7.

O comportamento em conjunto dos métodos de tratamento de difusão e pressão, aliados à concentração de 3 e 5% de timol tiveram eficiência no tratamento preservativo de madeira de paricá, ao ataque de cupins da espécie *Cryptotermes brevis*. Possivelmente, o acúmulo de timol na estrutura da madeira inibiu o ataque dos cupins. Na Tabela 5 são apresentados os valores médios de mortalidade para o tratamento preservativos de madeira de paricá.

**Tabela 5** – Mortalidade média dos cupins *Cryptotermes brevis* (%) em função dos tratamentos

Concentrações de timol (%)	Tratamentos preservantes		
	Pincelamento	Difusão	Pressão
1	56,00 <sup>(10,98)</sup> aA*	50,42 <sup>(7,97)</sup> aB*	51,88 <sup>(10,68)</sup> aB*
3	55,42 <sup>(12,98)</sup> bA*	84,58 <sup>(9,28)</sup> aA*	78,75 <sup>(14,21)</sup> aA*
5	66,25 <sup>(15,06)</sup> bA*	97,50 <sup>(3,16)</sup> aA*	87,92 <sup>(15,44)</sup> aA*
<b>Controle</b>	41,00 <sup>(9,71)</sup>		

Fonte: O autor. Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo tratamento, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ). Médias assinaladas com (\*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ). Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

A mortalidade de cupins para todos os tratamentos preservativos de madeira de paricá foi superior ao controle (41% de mortalidade), pelo teste Dunnett à 5%. O tratamento de

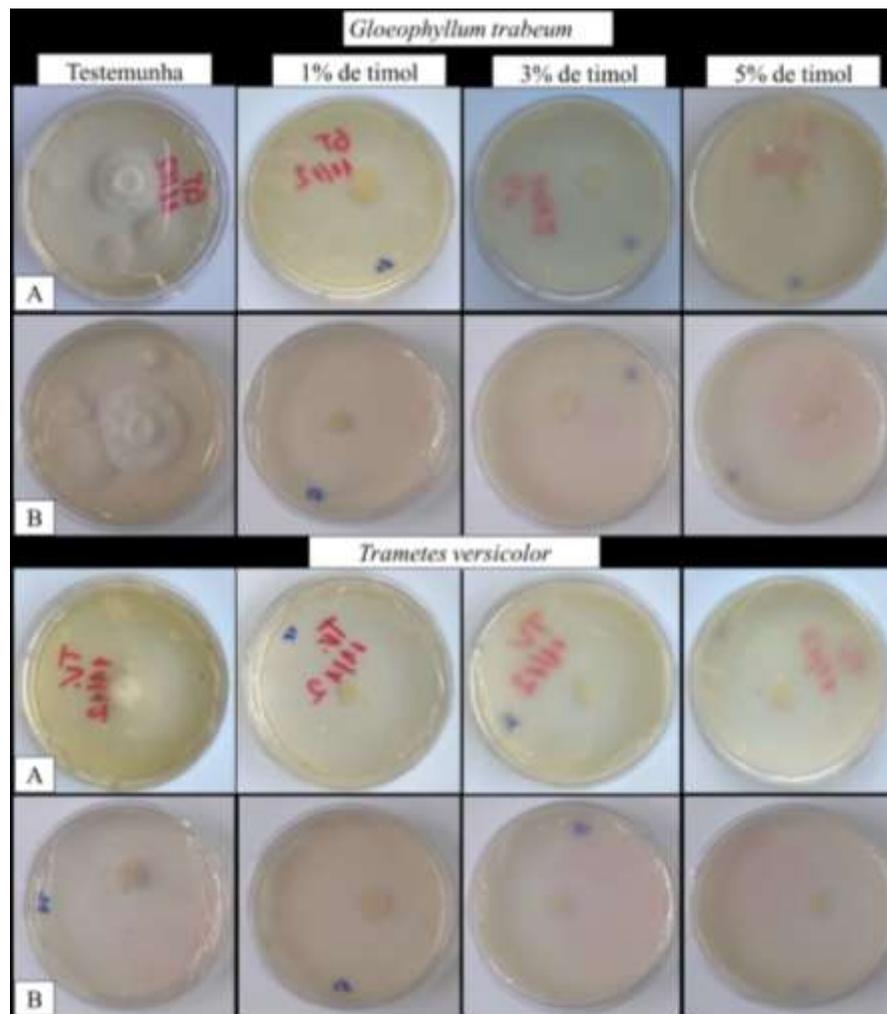
pincelamento, difusão e pressão tiveram mortalidade superior a madeira *in natura* em 38,11; 57,95 e 53,37%, respectivamente. As amostras de paricá tratadas com 5% de timol tiveram os maiores valores de mortalidade.

De modo geral, a combinação dos métodos de tratamento (pincelamento, difusão e pressão) com a concentração de 1, 3 ou 5% de timol proporcionaram uma ação expressiva no ganho de resistência ao ataque de térmitas de madeira seca *Cryptotermes brevis* na madeira de paricá, a qual foi altamente consumida nas amostras sem tratamento (controle). Portanto, os tratamentos configuraram em métodos eficientes para tornar uma madeira de baixa durabilidade natural como o paricá, em níveis de resistência aceitáveis para locais com presença de cupins de madeira seca (*Cryptotermes brevis*).

#### **4.3.2. Ensaio de resistência fúngica**

O crescimento micelial dos fungos de podridão branca (*Trametes versicolor*) e podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) submetido às concentrações de 1, 3 e 5% de timol, foi avaliada, conforme ilustrado na Figura 8.

**Figura 8** – Ensaio de atividade biológica em placa de Petri de soluções de timol nas concentrações 1, 3 e 5%: (A) sexto dia de ensaio; (B) décimo segundo dia de ensaio.



Fonte: O autor

Na placa de Petri com o meio de cultura (controle) houve crescimento micelial acentuado dos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*. Este crescimento esteve presente já no sexto dia de experimento. Para a concentração mínima de inibição do crescimento micelial dos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum* nas amostras produzidas com diferentes concentrações de timol (Figura 8), constatou-se que mesmo as placas de Petri com a menor concentração de timol (1%) não tiveram nenhum crescimento micelial. Ao término do experimento, no décimo segundo dia, quando o crescimento micelial dos fungos nas amostras controle atingiram as bordas das placas de Petri (100% de crescimento), constatou-se que em todas as concentrações testadas contendo timol, não houve crescimento micelial, demonstrando o caráter fungicida do produto.

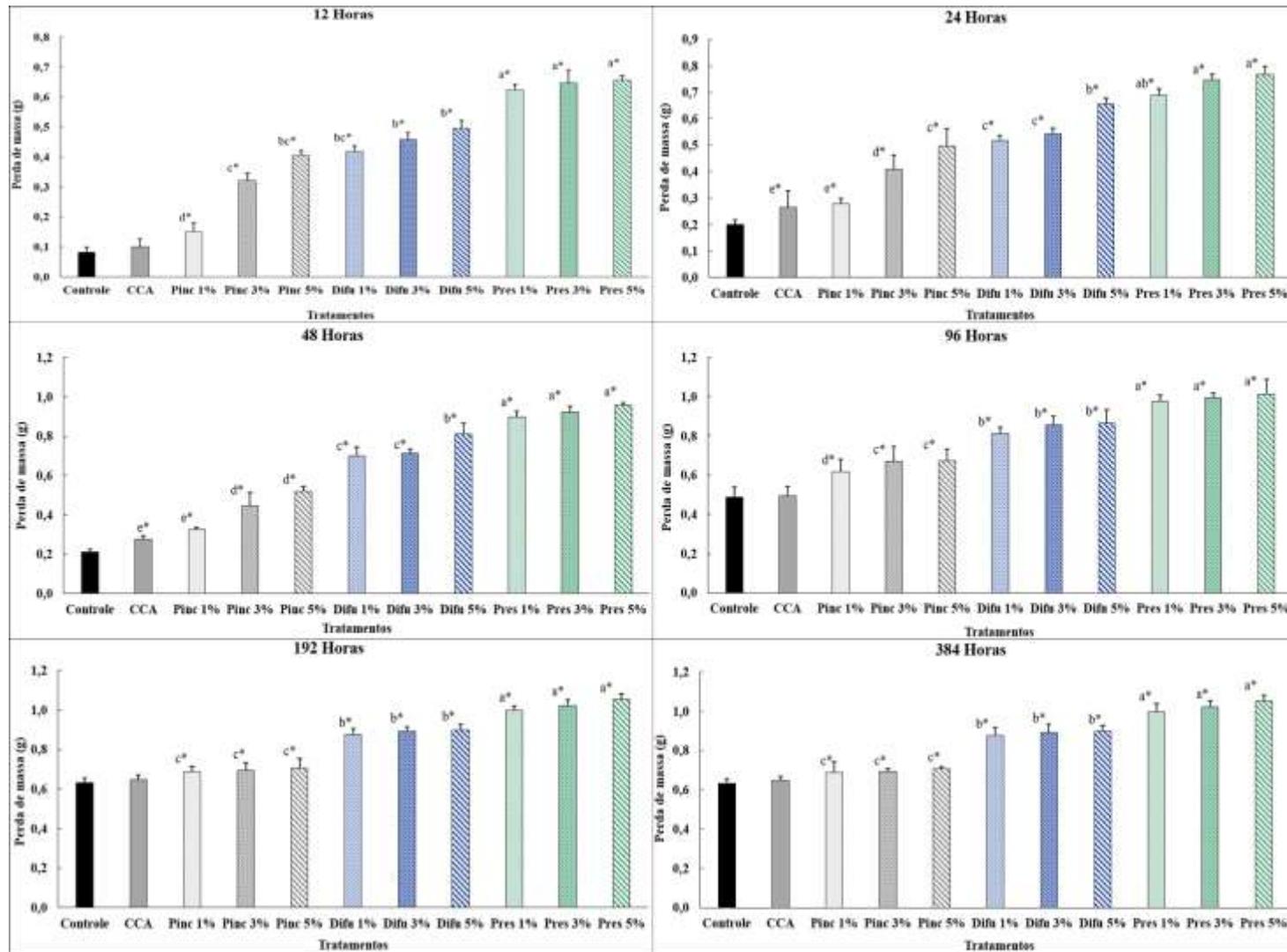
O mecanismo de ação do timol ainda é pouco conhecido, no entanto, especula-se que suas propriedades estão relacionadas com sua estrutura fenólica (SOARES, 2018). De acordo com Chavan e Tupe (2014), o timol é responsável por causar danos na membrana e vazamento de conteúdo citoplasmático nos microrganismos. Além disso, mesmo em baixas concentrações, compostos fenólicos, como o timol, alteraram a permeabilidade da parede celular dos fungos, permitindo a perda de macromoléculas das células fúngicas (KLARIC et al., 2007). A Relação causa-efeito exata do modo de ação dos fenólicos presentes na molécula do timol ainda não foi determinado, mas estes compostos podem inativar enzimas essenciais as células fúngicas, reagir com proteínas da membrana celular ou perturbar a funcionalidade do material genético fúngico (LOPEZ-MALO et al., 2005).

O timol já foi comprovado com capacidade fungicida e fungistática *in vitro* contra diversos fungos e leveduras (KLARIC et al., 2007; KORDALI et al., 2008; ABBASZADEH et al., 2013; ZUZARTE et al., 2013; CHAVAN; TUPE, 2014) e aqui neste estudo, também foi comprovada a sua atividade de inibição dos fungos de podridão branca (*Trametes versicolor*) e podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*).

#### **4.4. Resistência ao intemperismo**

Foram avaliadas as perdas de massa das três metodologias de tratamento preservativo de madeira de paricá (pincelamento, difusão e pressão), com concentração de 1, 3 ou 5% de timol, além da madeira *in natura* (controle) e tratada com CCA tipo C, após, 12, 24, 48, 96, 192 e 384 horas de intemperismo artificial em câmara UV, Figura 9.

**Figura 9** – Perda de massa dos tratamentos após o ensaio de envelhecimento acelerado para os períodos de 12, 24, 48, 96, 192 e 384 horas.



Fonte: O autor. As barras no topo do gráfico de colunas são os desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $\alpha = 0,05$ ). Médias assinaladas com (\*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ).

O intemperismo provocou uma redução de massa das amostras de todos os tratamentos ao longo do período de exposição. Segundo Andrade (2021), realização de ensaios envolvendo ciclos combinados com luz ultravioleta A (UVA) e umidade saturada (condensação) provocam a degradação acelerada de diversos materiais orgânicos, principalmente extrativos, o que pode reduzir a massa do material.

No geral, todos os tratamentos com o timol tiveram perda de massa superior à madeira *in natura* (controle) e a tratada com CCA. A maior perda de massa das amostras tratadas com timol está relacionado a uma provável volatilização deste produto durante o ensaio de envelhecimento acelerado. Segundo Nunes (2022), o timol é um óleo essencial, ligeiramente solúvel em água em pH neutro, com ponto de fusão 52°C. Portanto, os constantes ciclos de aquecimento e umidificação das amostras durante ciclo 4 utilizado no ensaio (ASTM G 154, 2016), provocaram a volatilização e lixiviação de parte do timol presente nas amostras.

A maior perda de massa foi observada para o tratamento de pressão, tendo uma redução de até 1,072g para o tratamento com 5% de timol, no tempo de 384 horas de exposição à câmara de intemperismo UV. Isto porque este tratamento, em relação aos demais, ter tido a maior retenção do timol (6,98 kg/m<sup>3</sup>), este maior conteúdo de timol proporcionou as maiores taxas de volatilização e lixiviação. Em contrapartida, o tratamento de pincelamento teve a menor perda de massa, o que pode ser justificado pela menor capacidade de penetração da solução na madeira, conseqüentemente menor retenção do produto.

No geral, a madeira tratada com CCA para este ensaio, teve perda de massa semelhante a testemunha (madeira sem tratamento). Segundo Lepage et al. (2017), apesar do produto preservativo CCA-C ter boa fixação na madeira e ter resistência à lixiviação, é composto por ingredientes ativos tóxicos (Arsênio, Cromo e Cobre), o que torna questionável o seu risco à saúde humana.

## 5. CONCLUSÕES

- A densidade da madeira tratada com timol é maior do que a madeira *in natura*.
- A combinação do tratamento de pressão com as concentrações 1%, 3% e 5% de timol resultou em maior poder calorífico da madeira.
- As análises químicas do timol evidenciaram o alto grau de pureza e poder calorífico deste composto.

- O tratamento com 5% de timol teve a maior redução de danos e no número de orifícios causados pelos cupins.
- A combinação dos tratamentos preservativos e das concentrações de timol ocasionou uma maior taxa de mortalidade de *Cryptotermes brevis* em relação a madeira *in natura*.
- Nos tratamentos de difusão e pressão observou-se os maiores valores para o índice de mortalidade de *Cryptotermes brevis* nas concentrações de 3 e 5% de timol.
- As três concentrações de timol inibiram o desenvolvimento dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* *in vitro*.
- A madeira tratada com timol teve maior perda de massa no ensaio de envelhecimento acelerado.

## 6. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Diante dos resultados satisfatórios do tratamento, recomenda-se usar a os tratamentos de difusão e pressão com concentrações de 3 e 5% de timol como tratamento preservativo de madeiras com alta permeabilidade para inibir o ataque de cupins de madeira seca. No entanto, devido a elevada perda do timol no ensaio de envelhecimento acelerado, recomenda-se o estudo de técnicas que aumentem a fixação do timol à célula vegetal e reduzam as perdas por volatilização e lixiviação. Dentre elas, o uso do encapsulamento do timol com nanopartículas de sílicas ou utilizando um outro produto químico para fixar o timol à madeira.

Para a conclusão mais completa sobre a eficiência do timol contra os demais agentes biológicos deterioradores de madeira, são necessárias análises complementares por meio de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos e ensaios biológicos de campo.

## 7. REFERÊNCIAS

ABBASZADEH, S.; SHARIFZADEH, A.; SHOKRI, H.; KHOSRAVI, A.R.; ABBASZADEH, A. Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. **Journal de Mycologie Médicale**, p.1-6, 2014.

ANDRADE, J. K. B. **Efeito da modificação térmica nas propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto para deck**. 2021, 97 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9480**: Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais – Requisitos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2009. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16143**: Preservação de madeiras – Sistema de categorias de uso. Rio de Janeiro, 2013. 19 p

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM G 154**: standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2016.

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.

APPEL, J. S. L.; TERESVOVA, V.; RODRIGUES, V. C. B.; VERA, M. F. Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão. **Revista Brasileira de Toxicologia**, São Paulo, SP, v. 19, n. 1, p. 33-47, 2006.

BALDIN, T.; BARAÚNA, E. E. P.; COUTINHO, M. N.; BRITO, T. R. Tratamentos não industriais em madeiras de *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. **Agroecossistemas**, v. 12, n. 2, p. 194-204, 2020.

BALDIN, T.; NUNES, S. M. V.; EVARISTO, T. L. D.; BARAÚNA, E. E. P. Extratos das folhas de *Corymbia citriodora* na proteção da madeira de *Eucalyptus* sp. **Revista Matéria**, v.27, n.2, 2022.

BRITO, A. F. **Resistência da madeira de várias espécies de eucalipto a organismos xilófagos e intemperismo após tratamento com CCB por substituição de seiva**. 2017. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, SP, 2017.

CAVALHEIRO, R.S. **Madeira Laminada Colada de *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá): combinação adesivo/tratamento preservante**. 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014.

CHAVAN, P. S.; TUPE, S.G. Antifungal activity and mechanism of action of carvacrol and thymol against vineyard and wine spoilage yeasts. **Food Control**, v.46, p. 115-120, 2014.

DIN - Deutsche Institut für Normung. **EN 14918: Determination of calorific value**. Berlin: CEN: 63 p. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Revisada e ampliada – Brasília, DF: Embrapa, 353p. 2013.

ESCOBAR, A.; PÉREZ, M.; ROMANELLI, G.; BLUSTEINB, G. Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. **Arabian Journal of Chemistry**. v.13, p.9243-9269, 2020.

EVANGELISTA, W. V. **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto**. 2011. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

GALLIO, E.; GATTO, D. A.; LAZAROTTO, M.; BELTRAME, R. Eficiência de preservantes fungicidas em madeiras de duas espécies florestais submetidas à deterioração por fungo. **Nativa**, v.5, n.6, p.434-439, 2017.

GUEVARA, P.; REYNA-SEGURA, J.; ZUÑIGA-RUIZ, B.; LLANOS-ROMERO, R. E.; ANDRÉS-YEVES, M. F.; BARAJAS-GUZMÁN, M. G.; ECHEVERRI, F.; LEÓN-RIVERA, I. Biocidal effect of a hexane-soluble extract of *Lippia graveolens* Kunth (Verbenaceae). **Boletim Latino-americano e Caribenho de Plantas Medicinais e Aromáticas**, v. 17, n. 4, p. 342-349, 2018.

HOSSEINI, S. F.; REZAEI, M.; ZANDI, M.; FARAHMANDGHAVI, F. Development of bioactive fish gelatin/chitosan nanoparticles composite films with antimicrobial properties. **Food Chemistry**, v.194, p.1266-1274, 2016.

IPT 1157 - **Métodos de ensaios e análise em preservação de madeira**: Ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae) [Methods of testing and analysis in wood preservation: Accelerated laboratory test of natural resistance or wood preserved to the attack of termites of the genus *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae)], Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brazil, 1980.

JUNG, J. H.; KIM, D. H.; YOO, K. H.; YOON, S. Y.; KIM, Y.; BAE, M. K.; CHUNG, J.; KO, C. C.; KWON, Y. H.; KIM, Y. Dentin sealing and antibacterial effects of silver-doped bioactive glass/mesoporous silica nanocomposite: an in vitro study. **Clinical Oral Investigations**, v.23, n.1, p. 253-266, 2018.

KLARIC, M. S.; KOSALEC, L.; MASTELIC, J.; PIECKOVA, E.; PEPELINAK, S. Antifungal activity of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil and thymol against moulds from damp wellings. **Letters in Applied Microbiology**, v.44, p. 36–42, 200.

KORDALI, S.; ÇAKIR A.; ÖZER H.; ÇAKMAKCI R.; KESDEK M.; METE E. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. **Bioresources Technology**, v.99, p.8788–8795, 2008.

LEPAGE, E.; SALIS, A. G. de; GUEDES, E. C. R. **Tecnologia de Proteção da Madeira**. São Paulo-SP, Montana Química, 2017, 225p.

LIMA, D.S.; MAIARA, R.; CALVACANTI, C.B.; DOS SANTOS, B.H.C.; LIMA, I.O. Estudo da atividade antibacteriana dos monoterpenos timol e carvacrol contra cepas de *Escherichia coli* produtoras de  $\beta$ -lactamases de amplo espectro. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 8, n. 1, p. 17-21, 2017.

LOPEZ-MALO, A.; ALZAMORA, S. M.; PALOU, E. *Aspergillus flavus* growth in the presence of chemical preservatives and naturally occurring antimicrobial compounds. **International Journal of Food Microbiology**, v 99, p.119– 128, 2005.

MACIEL, V. O. B. **Obtenção e caracterização de micropartículas de zeína carregadas com timol**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Departamento de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.

MATTOS, B. D.; TARDY, B.L.; PEZMAN, M.; KAMARAINEN, T.; LINDER, M.; SCHREINER, W.H.; MAGALHÃES, W.L.E.; ROJAS, O.J. Controlled biocide release from hierarchically-structured biogenic sílica: surface chemistry to tune release rate and responsiveness. **Scientific reports**. v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

MENDES, J.F.; MARTINS, H.H.A.; OTONI, C.G.; SANTANA, N.A.; SILVA, R.C.S.; DA SILVA, A.G.; SILVA, M.V.; CORREIA, M.T.S.; MACHAD, G.; PINHEIRO, A.C.M.; PICCOLI, R.H.; OLIVEIRA, J.E. Chemical composition and antibacterial activity of *Eugenia brejoensis* essential oil nanoemulsions against *Pseudomonas fluorescens*. **LWT**, v.93, p.659-664, 2018.

MESQUITA, B. M. **Obtenção, caracterização e avaliação farmacológica de derivados dos monoterpenos carvacrol e timol**. 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2017.

MONTEIRO, T.C.; LIMA, J.T.; HEIN, P.R.G.; SILVA, R.M.; TRUGILHO, P.F.; ANDRADE, H.B.; Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 45, n. 115, p. 493-505, 2017.

MORENT, R.; DE GEYTER, N.; LEYS, C.; GENGEMBRE, L.; PAYEN, E. Comparison between XPS- and FTIR-analysis of plasma-treated polypropylene film surfaces. **Surface and Interface Analysis**, v.40, p.597-600, 2008.

MORRELL, J. J. **Chromate Copper Arsenate as a Wood Preservative. In: Environmental Impacts of Treated Wood**, T.G. Townsend and H. Solo-Gabriele (Ed.). CRC Press, Boca Raton, p.5-17, 2006.

NUNES, C. C. G.; FERNANDES, J. L. O.; COSTA, M. M. B.; BONIFÁCIO, R. I. S.; DUARTE, T. A.; SILVA, P. R.; DA SILVA, D. T. C.; LUCENA, V. S. Potencial biológico antimicrobiano da *lippia sidoides* (verbenaceae). **RBC Science**, v. 1, n. 1, 2022.

OLIVEIRA, A. C. **Secagem de toras de eucalipto**. 2015. 81 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

OLIVEIRA, J. C. **Análise da qualidade de colagem de painéis de madeira compensada de *Pinus taeda* tratada com CCA**. 2016. 57 f. Engenharia Industrial Madeireira – Universidade Estadual Paulista, Itapeva, SP, 2016.

OLIVEIRA, L. O.; OLIVEIRA, F. L.; BRAZOLIN, S. Wood preservation for preventing biodeterioration of Cross Laminated Timber (CLT) panels assembled in tropical locations. **Procedia Structural Integrity**, v.11, p. 242-249, 2018.

PAES, J. B.; LOPES, D. J. V.; GONÇALVES, F. G.; BRITO, F. M.; LOMBARDI, L. R. Efeito da concentração na ascensão de soluções preservativas preparadas com CCB em moirões de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.3, p. 384-393, 2014.

PAIVA, W. F. **Síntese de tetraidrofuranolulidinas assistida por micro-ondas via reação de povarov**. 2018. 119 f. Bacharelado em Química – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

PENG, Y.; WANG, Y.; ZHANG, R.; WANG, W.; CAO, J. Improvement of wood against UV weathering and decay by using plant origin substances: Tannin acid and tung oil. **Industrial Crops and Products**, v.168, P.113606, 2021.

ROSA, L.S. Características botânicas, anatômicas e tecnológicas do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huberr ex Ducke). **Revista de Ciências Agrárias**, v.1, n. 46, p.63-79, 2006.

SALEHI, B.; MISHRA, A. P.; SHUKLA, I.; SHARIFI-RAD, M.; CONTRERAS, M. M.; SEGURA-CARRETERO, A.; FATHI, H.; NASRABADI, N. N.; KOBARFARD, F.; SHARIFI-RAD, J. Thymol, thyme, and other plant sources: Health and potential uses. **Phytotherapy Research**, v. 32, n. 9, p. 1688-1706, 2018.

SANTOS, A.A.; OLIVEIRA, B.M.S.; MELO, C.R.; LIMA, A.P.S.; SANTANA, E.D.R.; BLANK, A.F.; PICAÇO, M.C.; ARAÚJO, A.P.A.; CRISTALDO, P.F.; BACCIA, L. Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v.145, p.436-441, 2017.

SILVA, C.M.S. **Pré-hidrólise e densificação termomecânica da madeira de pinus**. 2019. 72f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

SOARES, A. K. **Aplicação de lignina kraft para estabilização de um sistema biocida baseado em timol**. 2018, 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018

SUDAM-DRN/EMBRAPA-SNLCS. **Estudos climáticos do estado do Pará, classificação (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwaite, Mather)**. Belém, PA: Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia, 53p. 1993.

TELES, R.F.; COSTA, A. FL; DE SOUZA, M. R. Análise da influência do tratamento preservativo na cor e rugosidade de superfícies de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.1, p. 100-108, 2016.

TEREZO, R. F. Resistência da madeira tratada de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) ao ataque de cupins. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v.8, n.3, p.187-193, 2017.

USEPA, 2016. **Chromated Arsenicals (CCA)**. Disponível em:<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/chromated-arsenicals-cca>. Acessado em: 12 jun. 2021.

VALLE, M. L. A.; SILVA, J. C.; D-LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 481-490, 2013.

VASCONCELOS, A. D. M. **Inflamabilidade de espécies da Caatinga para uso em cortinas de segurança no semiárido paraibano**. 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2019.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 124p. 1991.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I. P. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, 2012.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

VIVIAN, M.M.A.; GROSSKOPF; E.J. NUNES, G.C.; ITAKO, A.T.; MODES, K.S. Qualidade e eficiência de produtos naturais no tratamento preservativo das madeiras de *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus viminalis* e *Pinus taeda*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 19, n. 1, 2020.

VIVIAN, M. A.; MENEGUSSI, M.; SOLDI, C.; MODES, K. S. Qualidade e eficiência do tanino e de aditivos na preservação da madeira de *Pinus taeda* contra o apodrecimento. **Advances in Forestry Science**, v. 9, n. 2, p. 1773-1780, 2022.

XIE, Y.; WANG, Z.; HUANG, Q.; ZHANG, D. Antifungal activity of several essential oils and major components against wood-rot fungi. **Industrial Crops and Products**. v.108, p.278–285. 2017.

ZAHRAN, H.; ABDELGALEIL, S. Insecticidal and developmental inhibitory properties of monoterpenes on *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae). **Journal of Asiapacific Entomology**. v. 14, n. 1, p. 46-51, 2011.

ZHANG, Z.; YANG, T.; MI, N.; WANG, Y.; LI, GUOYUAN, L.; WANG, L.; XIE, Y. Antifungal activity of monoterpenes against wood white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v.106, p.57-160, 2016.

ZUZARTE, M.; GONÇALVES, M. J.; CAVALEIRO, C.; CRUZ, M. T; BENZARTI, A.; MARONGIU, B.; MAXIA, A.; PIRAS, B. A.; SALGUEIRO, L. Antifungal and anti-inflammatory potential of *Lavandula stoechas* and *Thymus herba-barona* essential oils. **Industrial Crops and Products**, v.44, p.97–103, 2013.

### CAPÍTULO III

#### **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS DE *CROSS LAMINATED TIMBER* (CLT) DE MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke)**

**Resumo** – *Cross Laminated Timber* (CLT) ou madeira laminada cruzada, é um produto composto por camadas de lamelas de madeira coladas transversalmente às camadas adjacentes. Dentre as suas vantagens estão o desempenho estrutural competitivo, a estabilidade dimensional, a industrialização na produção dos painéis, a rapidez na construção, redução ou isenção de resíduos na obra, bom isolamento térmico e acústico e a capacidade de estocagem de CO<sub>2</sub>. Na produção do CLT utiliza-se basicamente madeira de coníferas, especialmente do gênero *Pinus*. Portanto, é necessário explorar o potencial de novas espécies florestais, principalmente folhosas, cujas propriedades físicas e mecânicas se adequam a produção de painéis CLT. Objetivo principal deste trabalho foi a produção e caracterização de painéis CLT de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) tratada com soluções à base de timol. Inicialmente as lamelas de madeira de paricá foram aquecidas em vapor, 120°C por 20 min, em seguidas imersas soluções preservativas com concentrações de 1, 3 ou 5% de timol. Para a colagem utilizou o adesivo poliuretano monocomponente. Foram avaliadas as propriedades física e mecânicas da madeira de paricá *in natura* e tratadas com timol, bem como as propriedades físicas e mecânicas dos CLT. Realizou-se a análise visual do modo de ruptura dos painéis e por fim, a comparação dos resultados com a ETA 06/0138. De acordo com os resultados, as soluções preservativas aumentaram a densidade da madeira de paricá, porém, reduzindo umidade de equilíbrio higroscópico e permeabilidade. Entretanto, não alterou as propriedades mecânicas da madeira de paricá. O tratamento com timol elevou a densidade do painel CLT, porém não alterou as propriedades mecânicas dos painéis. Houve presença de *rolling shear*, falhas por delaminação, compressão e tração nos corpos de prova do ensaio de flexão. Os corpos de prova de compressão tiveram falhas por cisalhamento, falhas na linha de cola e falhas por esmagamento. O ensaio de cisalhamento na linha de cola evidenciou maiores porcentagens de falha na linha de cola. Os valores obtidos de compressão normal às fibras e MOE transversal atenderam aos requisitos da ETA 06/0138.

**Palavras-chave:** Timol. Madeira laminada cruzada. *Rolling shear*.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de reduzir a emissão dos gases de efeito estufa e o aumento da procura por matérias-primas e técnicas sustentáveis tem incentivado pesquisas na busca por materiais alternativos. Desse modo, o sistema construtivo *Cross Laminated Timber* (CLT) tem-se destacado no mercado de construção civil, visto que, tem como principal componente a madeira procedente do plantios florestais (ALMEIDA, 2022).

*Cross Laminated Timber* (CLT) ou madeira laminada cruzada, teve início de fabricação em meados dos anos de 1990, na Áustria e Alemanha, de uma parceria entre a indústria austríaca KLH® *Massivholz GmbH* e as pesquisas da *Graz University of Technology*. A inserção do sistema construtivo na construção foi lenta e a partir de 2000 teve aumento significativo (EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019). O CLT um produto pré-fabricado de madeira sólida engenheirada composto por camadas de lamelas de madeira coladas ortogonalmente, podendo variar de 3 a 9 camadas. (BRANDNER et al., 2016; EROL KARACABEYLI; BRAD DOUGLAS, 2019).

Entre as principais vantagens deste produto de madeira, tem-se, o desempenho estrutural competitivo; estabilidade dimensional (passível da industrialização na produção dos painéis); a rapidez na construção, pela pré-fabricação, permitindo a produção sob medida e simplificando a construção; a redução ou isenção de resíduos na obra; bom isolamento térmico e acústico; resistência ao fogo; e capacidade de estocagem de CO<sub>2</sub> (MOHAMMAD et al., 2012; MALLO; ESPINOZA, 2014; BRANDNER et al., 2016; RAMAGE et al., 2017; ALMEIDA, 2022).

Atualmente, quase todas as estruturas em CLT no mundo são fabricadas com madeiras de coníferas, destacando as do gênero *Pinus* (*Pinus strobus*, *Pinus elliottii* e *Pinus nigra*) (ESPINOZA; BUEHLMANN, 2018). No entanto, há um interesse crescente na fabricação de painéis CLT a partir de madeira de folhosas (CORPATAUX; OKUDA; KUA, 2020; YUSOH et al., 2020).

No Brasil existem diversas espécies potenciais para o mercado de produção do CLT, entretanto, é um mercado ainda inexplorado. Dentre as espécies de folhosas estudadas para a produção do CLT, destaca-se o eucalipto (LIÃO et al., 2017; MICHAEL et al., 2018) e *Acácia mangium* (YUSOF et al., 2019). Outra espécie potencial para a produção de CLT é o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), uma espécie nativa da região amazônica, sendo cultivada no Brasil a partir da década de 1990 (LIMA et al., 2022). Essa espécie florestal se destaca pelo rápido crescimento, incremento médio anual - IMA médio de

10-30 m<sup>3</sup>/ha/ano, e fuste vertical com poucos defeitos naturais, principalmente nós (VIDAURRE et al., 2018). A densidade média da madeira é de 400 kg/m<sup>3</sup>, com coloração branca e de fácil processamento (VIDAURRE, 2010; COSTA, 2015).

Atualmente não existem estudos relatados de CLT de madeira de paricá. Porém, já existem estudos para a produção de outros tipos de painéis, por exemplo, o *Laminated Veneer Lumber* – LVL (COSTA et al., 2020); painéis de partículas de média densidade – MDP (SURDI, 2015); painéis de partículas orientadas – OSB (FERRO et al., 2015); painéis de fibras de média densidade – MDF (RIBEIRO, 2015); madeira laminada colada – MLC (OHASHI et al., 2010; MANRÍQUEZ; MORAES, 2010; GOMES et al., 2019) e compensados (MACHADO, 2018). Contudo, apesar de características tecnológicas adequada, a madeira de paricá possui baixa durabilidade natural, sendo suscetível ao ataque biológico (PILOCELLI et al., 2015; TEREZO et al., 2017; MORITANI, 2018).

Portanto, para a utilizar a madeira de paricá para a produção do CLT, é necessário tratá-la com preservativos que garantam a durabilidade adequada às construções. Para tal, destaca-se o uso do timol como produto preservativo. O timol é um óleo essencial, extraído de diversas espécies (*Thymus vulgaris*, *Lippia sidoides* e *Lippia graveolens*) e tem se destacado como um promissor biocida, pois, inibe a proliferação de fungos de podridão branca e parda (ZHANG et al., 2016; XIE et al., 2017; ESCOBAR, 2020), bactérias, mosquitos e besouros (ZAHHRAN; ABDELGALEIL, 2011; MATTOS et al., 2018), além de ter atividade antitermítica (LIMA et al., 2017; SANTOS et al., 2017).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi produzir e caracterizar painéis CLT com madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), tratadas com solução preservativa à base de timol, determinando a qualidade do painel produzido por meio de adequações aos valores referenciados na aprovação técnica europeia *European Technical Approval* ETA 06/0138 (2017).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Determinar propriedade física e mecânicas dos painéis CLT produzidos com madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) tratada com solução preservativa à base de timol.

## 2.2.Específicos

- Determinar o efeito do tratamento preservativo à base de timol nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke).
- Produzir painéis CLT com madeiras tratadas com timol em diferentes concentrações.
- Avaliar o efeito das concentrações de timol nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis CLT.
- Avaliar visualmente o modo de ruptura dos corpos de prova ensaiados mecanicamente.
- Comparar os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis CLT com os valores especificados na aprovação técnica europeia *European Technical Approval - ETA*.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a verificação do comportamento mecânico e qualificação de desempenho estrutural dos painéis CLT produzidos, os resultados obtidos das propriedades, física (densidade) mecânicas (compressão, flexão e cisalhamento) foram comparadas com documento técnico *European Technical Approval* (ETA 06/0138, 2017). A seguir, serão descritos os materiais e métodos utilizados para a produção e caracterização de painéis CLT com três camadas ortogonais.

### 3.1.Materiais

Para a produção dos painéis CLT foram utilizadas lamelas de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), adesivo poliuretano monocomponente e timol, especificados a seguir.

#### 3.1.1.Madeira

A madeira utilizada para a fabricação dos painéis CLT foi o *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke, pertence à família Caesalpinaceae, conhecida vulgarmente como

paricá (OLIVEIRA et al., 2019). Nove árvores, com 7 anos de idade, foram colhidas e desdobradas em pranchões de um metro de comprimento e espessura variando de 5 a 7,5 cm. Estes pranchões foram utilizados para a produção dos corpos de prova para determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá *in natura* (controle) e tratada com soluções à base de timol. Além disso, destes pranchões também foram produzidas lamelas com 60 cm de comprimento, 6,65 cm de largura e 1,6 cm de espessura utilizadas na produção do painel CLT.

### **3.1.2. Adesivo**

O adesivo utilizado para a fabricação dos painéis foi doado pela empresa Jowat Adhesives Brasil e consiste em um poliuretano monocomponente (PU), com a designação comercial de Jowat-Faser PUR 686.60.

### **3.2. Tratamento da madeira**

Foram tratadas por meio de difusão as madeiras das lamelas utilizadas na produção dos painéis CLT e os corpos de prova utilizados nos ensaios físicos e mecânicos de caracterização da madeira de paricá. Os corpos de prova foram preparados de acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997), com exceção do ensaio de flexão, que teve dimensões reduzidas proporcionalmente as descritas pela norma citada.

O timol sólido (cristal incolor) foi obtido comercialmente da empresa Quinarí. Inicialmente este composto foi solubilizado em etanol na proporção 1:2,32 (V/V), e devido ao caráter apolar do timol foi necessário adicionar à solução o surfactante polissorbato 20 (produto comercial Tween-20) na proporção de timol e surfactante de 1:2 (V/V), para melhorar a miscibilidade em água do timol. Após, esta solução foi colocada em um recipiente plástico com capacidade de 10 litros e completado o seu volume com água. Ao final foram produzidos 10 litros de solução preservativa para cada concentração de timol (1, 3 e 5%).

O tratamento dos corpos de prova e das lamelas foi realizado em autoclave vertical e consistiu em um aquecimento em vapor à 120°C e pressão de 0,098 MPa por 20 minutos. Após esta etapa os corpos de prova e as lamelas foram submersas em um recipiente de plástico com a solução preservativa à base de timol por 24 horas. Ao fim do período de tratamento, as amostras tratadas foram armazenadas em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e

umidade relativa de  $60 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante para posteriormente realizar os ensaios físicos e mecânicos, bem como produção dos painéis CLT.

### 3.3. Caracterização da madeira de paricá *in natura* e tratada com timol

#### 3.3.1. Propriedades físicas

Os corpos de prova de madeira com dimensões de 3 cm de espessura x 3 cm de largura x 5 cm de comprimento foram colocadas em câmara climática à temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e  $60 \pm 5\%$  de umidade relativa do ar até as amostras atingirem massa constante. O teor de umidade de equilíbrio foi calculado em base seca conforme NBR 7190 (ABNT, 1997).

A densidade aparente foi determinada com base nos valores de massa e volume das amostras (2 cm de espessura x 3 cm de largura x 5 cm de comprimento) na umidade de equilíbrio higroscópico, sendo o volume obtido pelo método de imersão em mercúrio descrito por Vital (1984).

A permeabilidade da madeira *in natura* ao ar atmosférico foi determinada pelo método do fluxômetro adaptado de De Oliveira (2015). Foram retirados os corpos de prova no formato cilíndrico em uma furadeira vertical acoplada com serra copo. A face superior e inferior das amostras com dimensões de 5 cm de comprimento e 1,3 cm de diâmetro foram limpas com estilete para desobstrução dos elementos anatômicos. A face longitudinal foi impermeabilizada com parafina para impedir a infiltração de ar.

O equipamento utilizado para o ensaio da permeabilidade ao ar atmosférico é dotado de quatro rotâmetros conectados em série nas seguintes escalas e sequência: 0,04 a 0,5 LPM (litros por minuto); 0,2 a 2,5 LPM; 0,4 a 5,0 LPM e 2,0 a 25,0 LPM, conectados a uma bomba a vácuo, as amostras foram encaixadas em mangueira de 1,5 cm de diâmetro ajustada com abraçadeira de metal, e os dados de vazão e pressão de saída coletados. A leitura de vazão de ar foi obtida pelo rotâmetro de menor escala e, quando não foi possível a leitura neste, prosseguia-se para o subsequente até que a leitura fosse obtida (OLIVEIRA, 2015). A permeabilidade das amostras de madeira foi calculada empregando-se a lei de Darcy, conforme descrito na Equação 1.

$$K = \frac{Q \cdot L \cdot P_i}{A \cdot \Delta P \cdot P_m} \quad (1)$$

Em que:

K = permeabilidade ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{atm} \cdot \text{s}$ ).

$Q$  = vazão ( $\text{cm}^3/\text{S}$ ).

$L$  = comprimento da madeira na direção do fluxo (cm).

$A$  = seção transversal da madeira perpendicular à direção do fluxo ( $\text{cm}^2$ ).

$\Delta P$  = diferencial de pressão ( $\text{atm./cm}^2$ ).

### 3.3.2. Propriedades mecânicas

Os testes mecânicos realizados foram segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), com exceção do ensaio de flexão, que teve dimensões dos corpos de prova reduzidas proporcionalmente as descritas pela norma citada.

No ensaio de flexão estática com a determinação o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) foram utilizados corpos de prova de prova de prova de 2 cm largura x 2 cm de espessura x 27 cm comprimento para cada tratamento, incluindo o controle (*in natura*). Foram utilizados 12 corpos de prova para cada um dos testes mecânicos realizados.

### 3.4. Produção dos painéis CLT

As lamelas foram desdobradas dos pranchões da madeira de paricá utilizando serra circular e processadas em uma plaina desengrossadeira para ajuste da espessura e uniformização da superfície. Para a montagem dos painéis, foram produzidas aproximadamente 250 lamelas, com comprimento de 60 cm, largura de 6,65 e espessura de 1,6 cm. Estas medidas foram estabelecidas em função da dimensões dos pratos da prensa hidráulica utilizada na prensagem do painel.

Após a produção das lamelas foi realizada a classificação visual, descartando-se peças com defeitos como nós, fendas, encanoamentos, encurvamentos e ainda feita a classificação com base na massa de cada peça. Esta classificação objetivou homogeneizar as peças utilizadas em cada camada do painel CLT.

As lamelas classificadas foram acondicionadas em sala climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa até massa constante, umidade base seca entre 10 e 12%. O controle da umidade é importante, porque afeta diretamente o desempenho da madeira colada, além da retratibilidade e tensões internas das lamelas. Salienta que alguns adesivos à base de poliuretanos utilizam a umidade da madeira como reagente para o início da colagem (PEREIRA, 2014), por isso o cuidado de adequação do teor de umidade da madeira.

Conforme as especificações do fabricante, foram utilizadas os EPI's necessários para a aplicação do adesivo. As superfícies a serem coladas foram limpas para a retirada de qualquer resíduos superficial que pudesse afetar a colagem. Além disso, as lamelas foram umedecidas com névoa de borrifação de água e aplicado o adesivo em ambos os lados das faces a serem coladas, bem como em suas laterais.

Os painéis foram produzidos em uma prensa hidráulica modelo CONTENCO. Inicialmente, os painéis foram montados sobre uma lona para evitar que colassem aos pratos da prensa. Com as lamelas limpas e umedecidas, procedeu-se montagem do painel, sendo aplicado o adesivo de poliuretano monocomponente com auxílio de espátulas de silicone. Foi utilizada a gramatura de 300 g/m<sup>2</sup> em cada camada do painel, sendo que, esta quantidade dividida pelas duas faces que seriam coladas. Além disso, foi aplicado adesivo, também, nas faces laterais de cada lamela de madeira, na gramatura de 250 g/m<sup>2</sup>.

Para a pré-prensagem das camadas dos painéis, as lamelas foram dispostas dentro de um gabarito metálico (60x60 cm) por 15 minutos, visando a união das laterais das lamelas. Depois procedeu-se a montagem do painel com três camadas perpendiculares entre si. Após a montagem, os painéis foram prensados em prensa hidráulica, com pressão vertical de 1,2 MPa, por 4 horas à frio. Salienta-se que, os painéis não foram prensados lateralmente. As principais etapas de produção do painel CLT de paricá estão representadas na Figura 1.

**Figura 1** – Etapas de produção do CLT: (A) limpeza das lamelas; (B) aplicação do adesivo PU na face lateral das lamelas; (C) pré-prensagem lateral das lamelas; (D) aplicação do adesivo PU na face maior das camadas do CLT; (E) lona plástica sob o painel; (F) prensagem do painel; (G) CLT produzido; (H) Disposição das camadas do CLT.



Fonte: O autor.

O acabamento superficial dos painéis produzidos foi realizado com auxílio de uma lixadeira, para corrigir pequenas imperfeições nas superfícies e retirada do excesso de adesivo aderido à superfície das lamelas. Após, foi realizado o corte de esquadreamento final do painel.

Foram confeccionados 12 painéis CLT com três camadas ortogonais, sendo três painéis sem tratamento das lamelas de paricá e três painéis para cada uma das concentrações de timol (1, 3 e 5%). Os painéis ficaram com dimensões finais de 60 cm de comprimento, 60 cm de largura e 5 cm de espessura. Após a produção dos painéis, procedeu-se a retirada dos corpos de prova para a caracterização física e mecânica dos CLT.

### 3.5. Caracterização dos painéis CLT

Foram determinadas a resistência à flexão e rigidez, por meio dos módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR); resistência à compressão perpendicular e paralela; resistência ao cisalhamento; porcentagem de falha na linha de cola e densidade aparente. Foi realizada também a avaliação visual dos painéis ensaiados, observando-se a forma de ruptura (presença do *rolling shear*) e o comportamento dos corpos de prova ensaiados (tipo e forma das falhas).

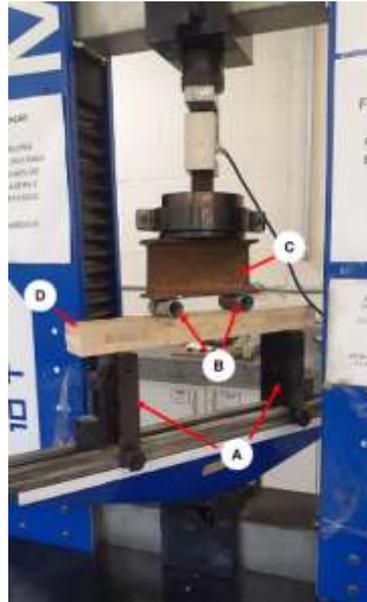
Por fim, os resultados de propriedade física e mecânicas dos painéis CLT de madeira *in natura* e tratada com timol foram comparados aos valores especificados na aprovação técnica europeia *European Technical Approval* - ETA 06/0138 (2017).

#### 3.5.1. Ensaio de flexão transversal e longitudinal

Os ensaios de flexão dos painéis CLT foram realizados, pelo método de carregamento de quatro pontos (*third-point load method*) ASTM D 198 – 27 (2009).

Para tanto, os painéis foram apoiados em cavaletes metálicos distanciados entre si por um vão de 39 cm. Para a transferência da força nos painéis foram utilizadas cilindros metálicos (diâmetro externo de 3 cm), distanciados entre si em 13 cm, unidos à uma viga metálica (22 cm de comprimento, 9,5 cm largura e altura de 10 cm). O arranjo do ensaio de flexão, bem como todos os componentes utilizados são apresentados na Figura 2.

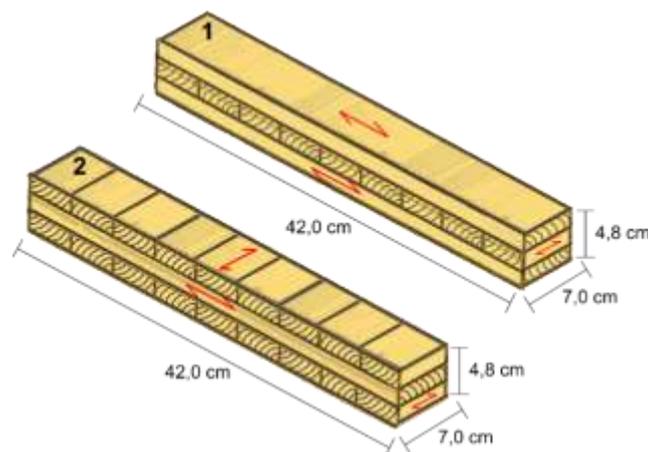
**Figura 2** – Ensaio de flexão: (A) cavaletes metálicos; (B) cilindros metálicos; (C) viga metálica; (D) corpo de prova.



Fonte: O autor.

De acordo com a disposição perpendicular entre as camadas do CLT, foram produzidos corpos de prova com predominância de lamelas no sentido longitudinal e no sentido transversal, Figura 3. Foram ensaiados ao todo 12 corpos de prova, sendo seis para cada um dos sentidos. As dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios de flexão, bem como o *script* de ensaio (carregamento monotônico crescente com velocidade de 6 kN/min), seguiram adaptações de Ecker (2017).

**Figura 3** – Dimensões dos corpos de prova utilizados no ensaio de flexão: (1) corpo de prova longitudinal; (2) corpo de prova transversal. As marcações em vermelho indicam o sentido das lamelas dentro da cama do CLT.



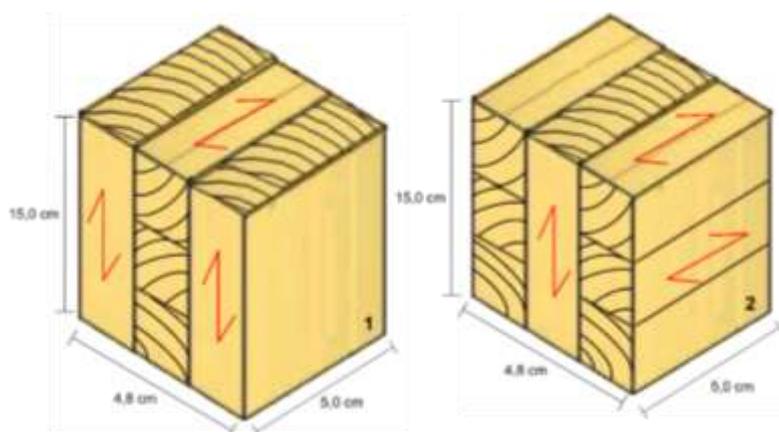
Fonte: O autor.

### 3.5.2. Ensaio de compressão

O ensaio foi realizado com dois tipos de configuração de corpos de prova: o primeiro com duas camadas de lamelas orientadas no sentido longitudinal, ou seja, predominância de compressão paralela às fibras em duas lamelas e normal às fibras em uma lamela; e o segundo tipo foram corpos de prova com uma lamela orientada no sentido longitudinal e duas na direção transversal, ou seja, predominância de compressão normal às fibras, conforme Figura 4.

Foram ensaiados ao todo 18 corpos de prova, sendo nove no sentido paralelo e nove no sentido normal às fibras. As dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios de flexão, bem como o *script* de ensaio (carregamento monotônico crescente com velocidade de 4 kN/min), seguiram adaptações de Ecker (2017).

**Figura 4** – Disposição das lamelas e dimensões dos corpos de prova utilizados no ensaio de compressão: (1) compressão paralela e (2) compressão normal às fibras. As marcações em vermelho indicam o sentido das lamelas dentro da cama do CLT.



Fonte: O autor.

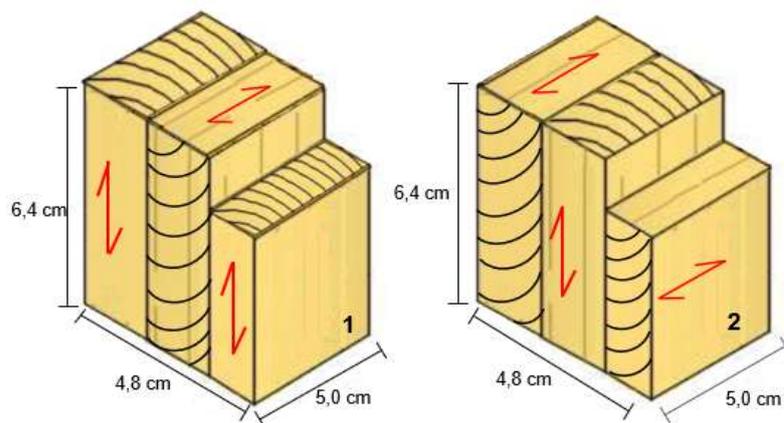
### 3.5.3. Cisalhamento na linha de cola

Conforme disposição perpendicular das camadas do CLT, foram produzidos dois tipos de configuração de corpos de prova. No primeiro caso, corpos de prova com predominância de lamelas no sentido longitudinal e no segundo tipo de configuração, predomínio de lamelas no sentido transversal.

Foram ensaiados ao todo 24 corpos de prova, sendo 12 no sentido paralelo e 12 no sentido normal às fibras. As dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios de

cisalhamento, bem como o *script* de ensaio (carregamento monotônico crescente com velocidade de 4 kN/min), seguiram adaptações de Ecker (2017).

**Figura 5** – Disposição das lamelas e dimensões dos corpos de prova utilizados no ensaio de cisalhamento na linha de cola: (1) cisalhamento na direção paralela às fibras e (2) cisalhamento na direção normal às fibras. As marcações em vermelho indicam o sentido das lamelas dentro da cama do CLT.



Fonte: O autor.

#### 3.5.4. Densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ ) foram utilizados os corpos de prova antes do ensaio de compressão. Inicialmente os corpos de prova permaneceram em sala climatizada com temperatura  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante, condição de umidade equilíbrio higroscópico (10-12%). Após, foi realizada a pesagem em balança digital e medição das dimensões dos 18 corpos de prova com auxílio de um paquímetro, determinou-se a densidade aparente (Equação 2), conforme metodologia adaptada de Vilela (2020).

$$\rho_{ap} = \frac{M_{Eq}}{V_{Eq}} * 1000 \quad (2)$$

Em que:

$\rho_{ap}$ : Densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ ).

$M_{eq}$ : massa da amostra na umidade de equilíbrio higroscópico (g).

$V_{eq}$ : volume da amostra na umidade de equilíbrio higroscópico ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.6. Delineamento experimental

Este trabalho foi instalado em um arranjo de Delineamentos Inteiramente Casualizados (DIC), com 4 tratamentos, sendo um a madeira *in natura* (controle) e três com diferentes concentrações de timol (1, 3 e 5%). Para todas as análises, atendida a pressuposição de normalidade e homogeneidade das variâncias, os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 95% de probabilidade, após observadas diferenças significativas, procedeu-se o teste de média Tukey, a 95% de probabilidade. A fim de verificar a existência de diferença entre os tratamentos com madeira tratada e a *in natura* foi realizado teste Dunnett, 95% de probabilidade, ambos com o uso do software Statistica Statsoft 7.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá

Na Tabela 1 são apresentados os valores das propriedades físicas da madeira de paricá *in natura* (controle) e tratada com timol. Nota-se não houve diferença significativa entre os tratamentos com timol, entretanto, eles foram significativamente diferentes da testemunha.

**Tabela 1** – Valores médios das propriedades físicas da madeira de paricá para cada concentração de timol

Propriedades físicas	Concentração de timol (%)	Valores médios	Unidade
Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ )	Controle	380,45 <sup>(0,06)</sup>	kg/m <sup>3</sup>
	1	405,22 <sup>(0,18)*</sup>	
	3	410,80 <sup>(0,10)*</sup>	
	5	419,11 <sup>(0,16)*</sup>	
Umidade de equilíbrio higroscópico (UEH)	Controle	12,29 <sup>(4,82)</sup>	(%)
	1	10,83 <sup>(3,21)*</sup>	
	3	10,91 <sup>(2,12)*</sup>	
	5	10,72 <sup>(3,01)*</sup>	
Permeabilidade (K)	Controle	911,68 <sup>(9,00)</sup>	cm <sup>3</sup> .cm/atm.s
	1	815,23 <sup>(8,12)*</sup>	
	3	803,10 <sup>(8,05)*</sup>	
	5	800,20 <sup>(9,10)*</sup>	

Fonte: O autor. Médias assinaladas com (\*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ). Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

O valor médio de densidade aparente da madeira de paricá *in natura* foi de 380,45 kg/m<sup>3</sup>, sendo superior aos resultados encontrados por outros pesquisadores para a madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), tal como no estudo de Vidaurre (2010) aos 7 anos, Almeida et al. (2014) aos 10 anos e Modes et al. (2020) aos 14 anos, que obtiveram densidade de 287, 360 e 370 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Nota-se que a adição da solução preservativa à base de timol elevou a densidade aparente da madeira de paricá, mas não houve efeito significativo da concentração.

Segundo Rosa (2006), a densidade da madeira de paricá é baixa devido ao elevado volume de poros, o que justifica sua elevada permeabilidade (911,68 cm<sup>3</sup>.cm/atm.s) e favorece a impregnação de produtos químicos na madeira, bem como a penetração de adesivos. Além disso, o timol é um óleo essencial, com elevada densidade (975 kg/m<sup>3</sup>) (MACIEL, 2014), logo o ancoramento superficial e penetração deste produto na madeira, interferiu positivamente na densidade.

A umidade de equilíbrio higroscópico e a permeabilidade das madeiras tratadas foram significativamente menores a madeira *in natura*. A presença do timol na estrutura da madeira ocasionou a redução destas propriedades. O timol é um óleo, e pela sua natureza apolar tende a reduzir a umidade de equilíbrio higroscópico, além disso, a impregnação deste produto nas células da madeira, possivelmente reduziu o volume de espaços vazios da madeira, conseqüentemente a sua permeabilidade. Na tabela 2 são apresentadas as propriedades mecânicas da madeira de paricá *in natura* e tratada com as concentrações de 1, 3 ou 5% de timol.

**Tabela 2** – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de paricá para cada concentração de timol

Propriedades mecânicas	Concentração de timol (%)	Valores médios	Unidade
Compressão paralela (f <sub>c0</sub> )	Controle	23,96 <sup>(3,13)</sup>	MPa
	1	23,21 <sup>(2,89)</sup>	
	3	22,96 <sup>(3,01)</sup>	
	5	23,01 <sup>(3,05)</sup>	
Cisalhamento paralelo (f <sub>v0</sub> )	Controle	5,65 <sup>(0,87)</sup>	MPa
	1	5,01 <sup>(0,21)</sup>	
	3	5,23 <sup>(0,35)</sup>	
	5	5,38 <sup>(0,60)</sup>	
Módulo de elasticidade (MOE)	Controle	13078,20 <sup>(9,24)</sup>	MPa
	1	13120,01 <sup>(8,23)</sup>	
	3	12980,22 <sup>(7,13)</sup>	

Continua.

Continuação.	5	13051,35 <sup>(6,80)</sup>	
	Controle	83,06 <sup>(8,70)</sup>	
Módulo de ruptura (MOR)	1	82,32 <sup>(6,41)</sup>	MPa
	3	84,65 <sup>(5,30)</sup>	
	5	83,48 <sup>(5,37)</sup>	
	Controle	167,42 <sup>(11,10)</sup>	
Dureza Janka (DJ)	1	167,32 <sup>(9,75)</sup>	kgf
	3	165,10 <sup>(10,30)</sup>	
	5	165,73 <sup>(11,24)</sup>	
	Controle	167,42 <sup>(11,10)</sup>	

Fonte: O autor. Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

Em geral, os valores médios das propriedades mecânica da madeira de paricá *in natura* deste trabalho foram similares aos valores encontrados na literatura. Vidaurre et al. (2018), para as propriedades físicas e mecânicas de madeira juvenil de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke), obtiveram para as propriedades de compressão paralela, cisalhamento paralelo, módulo de elasticidade e dureza Janka os valores de 23,6 MPa; 5,6 MPa; 6332 MPa e 141,43 kgf, respectivamente. Entretanto, o módulo de ruptura obtido neste trabalho (83,06 MPa) foi superior ao encontrado por Modes et al. (2020) (53,54 MPa), para madeira com densidade aparente de 370 kg/m<sup>3</sup> aos 14 anos de idade.

Em relação aos tratamentos preservativos, nota-se que de modo geral o timol não influenciou nas propriedades mecânicas da madeira tratada. O tratamento preservativo objetiva aumentar a resistência do material ao ataque de organismos xilófagos, contudo alterando o mínimo possível as propriedades físicas e mecânicas do material. Este resultado pode estar relacionado ao fato do timol ser um composto natural, que ao aderir a estrutura da madeira, não causou nenhuma degradação ou reação química que tenha afetado as suas propriedades mecânicas.

## 4.2. Propriedade física e mecânicas de CLT de madeira de paricá

### 4.2.1. Densidade aparente dos painéis CLT

Na Tabela 3 são apresentados os valores de densidade aparente dos painéis *in natura* (controle) e tratados com 1, 3 ou 5% de timol.

**Tabela 3** – Densidade aparente dos painéis CLT produzidos com madeira de paricá para cada concentração de timol

Concentração de timol (%)	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Controle</b>	381,00 <sup>(8,90)</sup>
<b>1</b>	385,93 <sup>(11,49)*</sup>
<b>3</b>	386,84 <sup>(16,48)*</sup>
<b>5</b>	388,23 <sup>(11,46)*</sup>

Fonte: O autor. Médias assinaladas com (\*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ). Valores sobrescritos entre parênteses representam o desvio padrão.

Para os painéis com madeira tratada, houve diferença significativa em relação ao controle, com um aumento de 1,86% na densidade aparente dos painéis tratados com maior concentração de timol (5%). Provavelmente, o tratamento com timol pode ser responsável pelo incremento da densidade aparente das madeiras utilizadas na produção dos painéis, uma vez que, nas concentrações de timol (1, 3 e 5%) e no tratamento de difusão que foram aplicados neste estudo, há uma tendência de impregnação do timol nos elementos de vaso e raios que compõem a estrutura anatômica da madeira de paricá (TONDI et al., 2013)

Portanto, o aumento de densidade dos painéis tratados com timol, causou o aumento de massa para um mesmo volume. Além disso, segundo Maciel (2014), o timol é um óleo essencial com elevada densidade (975 kg/m<sup>3</sup>), e sua impregnação na madeira pode ter elevado a massa das lamelas e conseqüentemente na densidade do painel.

#### 4.2.2. Propriedades mecânicas dos painéis CLT

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das propriedades mecânicas dos painéis de madeira de paricá *in natura* (controle) e tratados com 1, 3 e 5% de timol.

**Tabela 4** – Propriedades mecânicas dos painéis CLT produzidos com madeira de paricá para cada concentração de timol

Propriedades	Controle	Concentração de timol (%)				
		1	3	5		
<b>Flexão (MPa)</b>	Transversal	MOE	720,00 (138,59)	715,35 (329,02)	714,10 (148,92)	716,85 (122,82)
		MOR	8,07 (1,82)	7,48 (2,46)	6,88 (0,84)	6,78 (1,14)
	Longitudinal	MOE	2474,20 (516,33)	2219,10 (546,24)	2121,00 (294,37)	2166,00 (258,73)
		MOR				

Continua.

Continuação.

		MOR	26,67 (0,31)	27,36 (4,43)	27,05 (4,87)	26,13 (2,91)
<b>Compressão (MPa)</b>	Paralela – $f_{c0}$		18,70 (2,13)	18,53 (0,92)	19,09 (1,56)	19,30 (0,82)
	Normal – $f_{i90}$		8,01 (2,40)	7,97 (0,15)	8,35 (0,08)	8,55 (0,14)
<b>Cisalhamento na linha de cola (MPa)</b>	Paralela – $f_{v0}$		5,78	5,3	5,93	5,45
	Normal – $f_{c90}$		2,39	2,20	2,74	2,33
<b>Porcentagem de ruptura na linha de cola (%)</b>	Paralela – $f_{v0}$		45%	46%	46%	45%
	Normal – $f_{c90}$		46%	45%	47%	46%

Fonte: O autor. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. MOE: Módulo de Elasticidade. MOR: Módulo de Ruptura.

O tratamento preservativo das lamelas de paricá com timol por meio da difusão não influenciou significativamente nas propriedades mecânicas dos painéis. Este resultado é considerado positivo, pois os produtos preservativos tendem a alterar as características físicas e químicas da madeira, e podem afetar as ações de movimento e mobilidade dos adesivos, consequentemente as propriedades dos produtos colados de madeira. Possivelmente o timol não interferiu na ligações químicas entre às paredes celulares da madeira e o adesivo, mantendo-se as forças moleculares de atração entre ambos.

Um exemplo das alterações na qualidade da colagem é a utilização do CCA (arseniato de cobre cromatado), um preservante hidrossolúvel utilizado no tratamento de madeira serrada e mourões. Este preservante pode afetar a eficiência de colagem, uma vez que os materiais metálicos insolúveis presentes no CCA precipitam na parede celular da madeira, comprometendo a relação madeira-adesivo, reduzindo a durabilidade da colagem na superfície dos materiais (CALIL NETO et al., 2014, SEGUNDINHO et al., 2017).

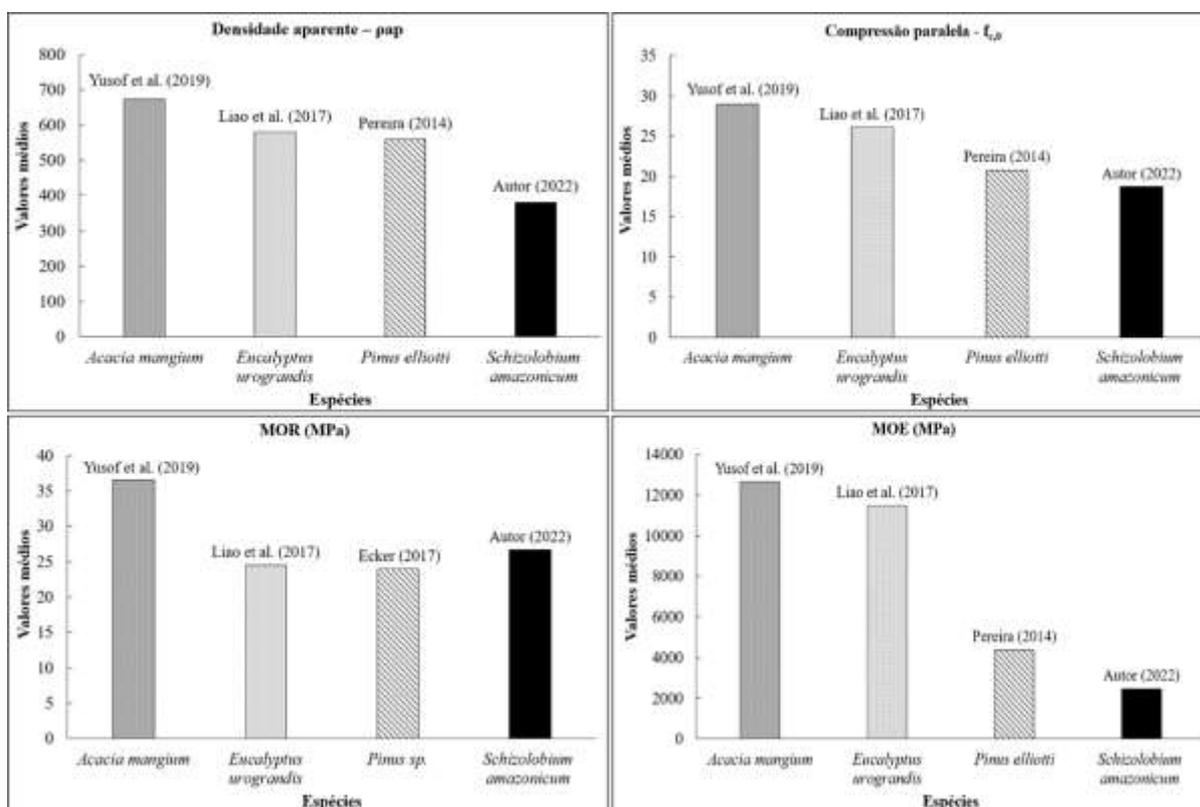
Entretanto, é possível notar que houve em média 46% de falha na linha de cola. As tensões geradas pela interação entre a madeira e o adesivo são importantes no balanço geral da resistência do painel. Quanto menor a resistência da linha de cola em relação à resistência da madeira, menor será a porcentagem de falhas da madeira na interface com o adesivo, indicando que as ligações adesivas são mais fracas que a própria madeira (FARIA et al., 2020). Estes mesmos autores citam que a baixa viscosidade do adesivo poliuretano, sendo muito fluido, pode haver uma penetração excessiva e desaparecimento do adesivo na estrutura porosa da madeira, resultando numa situação de quantidade insuficiente de adesivo na linha de cola, ocorrendo uma linha de cola faminta.

Observa-se que, o MOE e o MOR no sentido longitudinal foi 70% superiores aos observados no sentido transversal. Já para o ensaio de compressão e cisalhamento os valores de resistência no sentido paralelo às fibras foram de 57 e 59%, respectivamente, superiores ao sentido normal. Esta redução das propriedades mecânicas, possivelmente, está relacionada com o número de linhas de colas, uma vez que nos corpos de prova longitudinais possuem um maior número de pontos de ligações adesivo-madeira, o que tende a reduzir as propriedades do material.

Além disso, a orientação dos elementos anatômicos interfere diretamente na resistência mecânica da madeira. Segundo Bolgenhagen et al. (2021), a grã da madeira (orientação dos elementos anatômicos da madeira) reduz a resistência mecânica da madeira, quando esta não está paralela às forças externas aplicadas ao material e a resistência será maior, quando a grã se encontrar na mesma direção da força aplicada. Nota-se que para os corpos de prova no sentido normal a força é aplicada ortogonalmente ao sentido de orientação dos elementos anatômicos e neste sentido resistência mecânica é menor.

Na Figura 6 são apresentados os valores médios do módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e resistência a compressão paralela ( $f_{c0}$ ) dos painéis CLT e densidade aparente da madeira da madeira de paricá ( $\rho_{ap}$ ), obtidos neste trabalho em comparação com as pesquisas de Yusof et al (2019) para a produção de CLT de *Acacia mangium*; Liao et al. (2017) estudando a produção de CLT de *Eucalyptus urograndis*; e Pereira (2014) para CLT de *Pinus elliotti*.

**Figura 6** – Comparação dos valores das propriedades mecânicas do CLT e da madeira de paricá com a literatura.



Fonte: O autor.

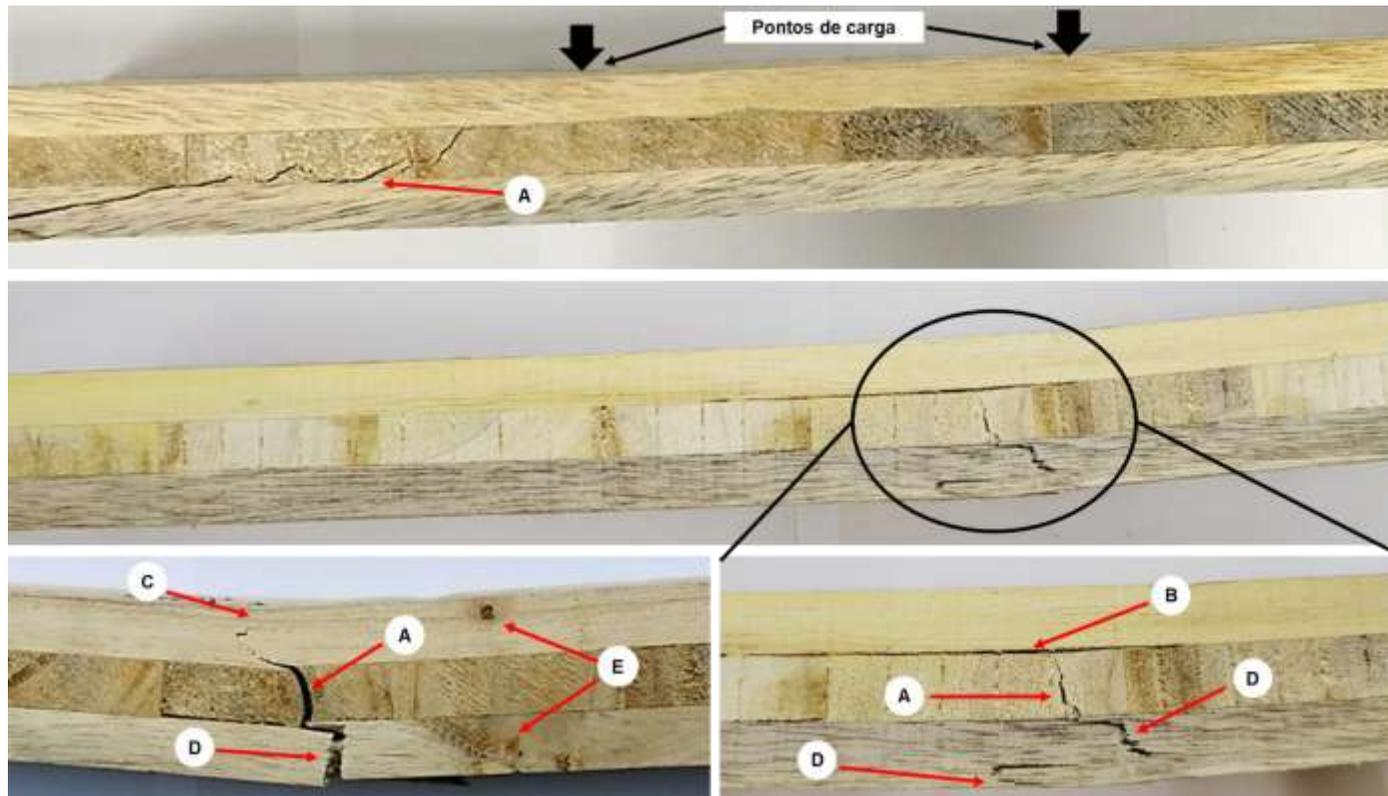
De modo geral, os valores das propriedades mecânicas dos painéis CLT de paricá obtidos neste estudo foram inferiores aos encontrados na literatura. De acordo com Toong et al. (2014), um dos principais fatores que influenciam na qualidade do CLT é a densidade, pois ela afeta as propriedades de resistência mecânica, retração e inchamento do material. Provavelmente, a baixa densidade da madeira de paricá ( $380,45 \text{ kg/m}^3$ ) em relação as demais espécies avaliadas influenciou negativamente nas propriedades mecânicas dos painéis CLT.

No entanto, uma alternativa à baixa densidade da madeira de paricá é modificação da madeira por meio dos tratamentos térmicos, por exemplo, a densificação. Este processo é uma alternativa viável para agregar valor às madeiras de espécies de menor densidade (FU et al., 2016; SILVA, 2019). O processo consiste em aplicar temperatura e pressão na madeira com objetivo de diminuir o espaço entre os poros e, conseqüentemente, aumentar sua densidade e resistência mecânica (PELIT; YALÇIN, 2017; PERTUZZATTI et al., 2018).

### 4.3. Modo de ruptura dos painéis CLT

Na Figura 7 são apresentadas as formas de rupturas observadas durante o ensaio de flexão dos painéis CLT.

**Figura 7** – Rupturas dos corpos de prova submetidos à flexão: (A) rupturas por *rolling shear*; (B) falhas por delaminação; (C) falha por compressão; (D) falha por tração; (E) nós na cama superior e inferior do corpo de prova



Fonte: O autor.

Observa-se na Figura 7 que a ruptura por cisalhamento, causado pelo *rolling shear*, que ocorreu na camada intermediária (central) próximo ao ponto de carga ao longo dos anéis de crescimento ou raio da madeira e a ruptura por tração ocorreu na camada inferior. Possivelmente, a baixa densidade da madeira de paricá afetou a capacidade de carregamento do painel CLT, pela ocorrência, principalmente, de cisalhamento por rolamento - RS (*rolling shear*) (AICHER; HIRSCH; CHRISTIAN, 2016).

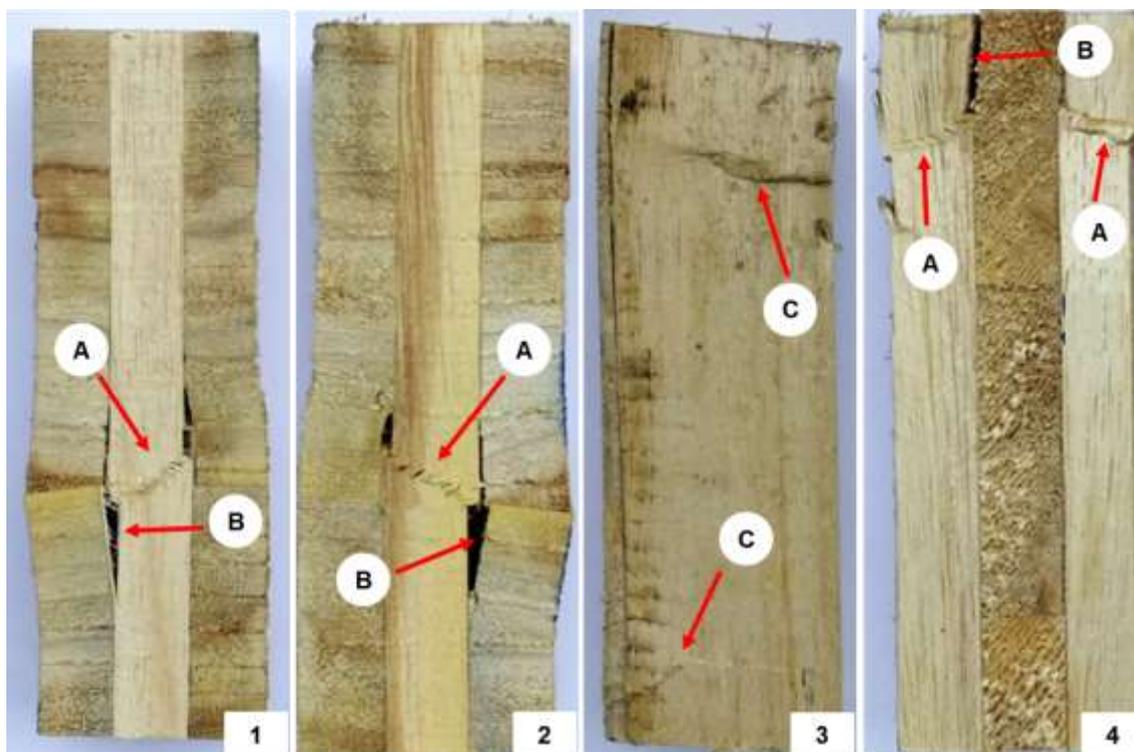
A falha por delaminação ocorreu entre a camada intermediária e a camada superior, já as falhas de compressão e tração das fibras longitudinais nas camadas externas, e, a compressão na camada superior e a tração na cama inferior. Esta mesma tendência foi observada em diferentes estudos, por exemplo, Liao et al. (2017), para as propriedades de CLT de madeira de eucalipto; Li et al. (2021), para o efeito do *rolling shear* em propriedades de CLT de *Pinus radiata*; e Cavalcante (2022), para as propriedades de CLT de alta densidade, produzido com eucalipto, pinus e jatobá.

Segundo Gardner et al. (2020) e Li et al. (2017), o cisalhamento por rolamento (RS) ou *rolling shear* é o modo de ruptura típico para painéis CLT em diferentes configurações de montagem, bem como no emprego de diferentes espécies e materiais na construção. Ambos os trabalhos mostram que a ruptura por *rolling shear* tem início na camada transversal e se propaga em direção à linha de cola, causando falhas por delaminação (Figura 7).

Os painéis CLT, pela espessura de suas camadas são susceptíveis ao cisalhamento planar (ou cisalhamento por rolamento) quando submetido a carga fora do plano (por exemplo, flexão) (LI et al., 2021). O cisalhamento por rolamento é resultado da menor resistência da laminação da madeira nas direções radial e tangencial, induzindo a falha nos anéis de crescimento. A sensibilidade ao cisalhamento por rolamento pode se tornar um fator limitante na escolha de um painel CLT, pela tensão de tração local na direção transversal da laminação induzida pelas forças de cisalhamento de laminação (KARACABEYLI; GAGNON, 2019).

Nota-se também na Figura 7, que houve ruptura do corpo de prova próximo a região com presença de nós internos na madeira. Segundo Li et al. (2021), os defeitos naturais da madeira, a exemplo dos nós, bolsões de resina, grã irregular, lenho de reação, podem reduzir a resistência mecânica da madeira e conseqüentemente dos produtos derivados. Na Figura 8 é apresentado os modos de falha para o ensaio de resistência à compressão paralela e normal dos corpos de prova de CLT de paricá.

**Figura 8** – Modos de falha para o ensaio de compressão normal (1 e 2) e paralelo (3 e 3): (A) falha por cisalhamento em CLT; (B) falha na linha de cola; e (C) falha por esmagamento.



Fonte: O autor.

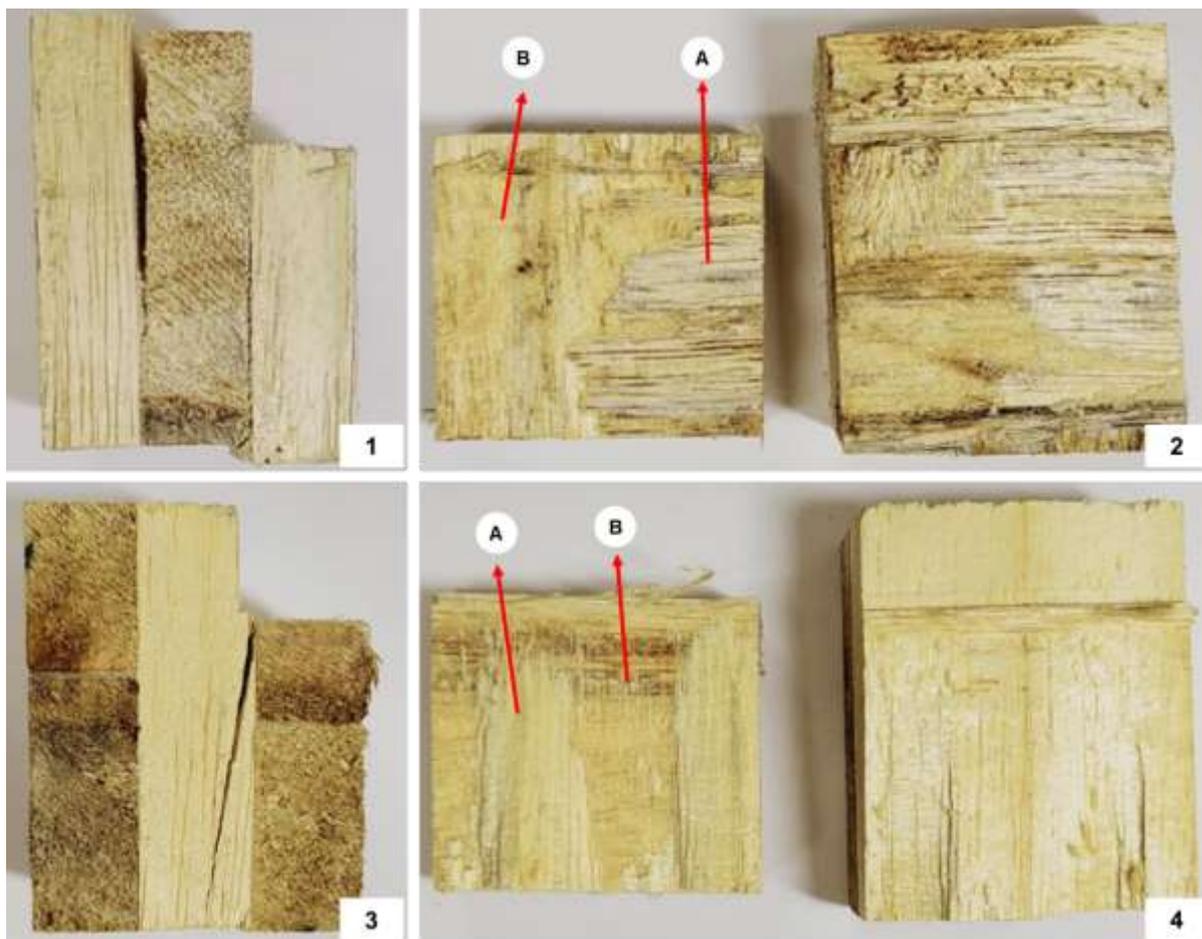
No geral, os modos de ruptura dos corpos de prova de compressão foram semelhantes aos resultados relatados por Yusof et al. (2019), que avaliaram as propriedades mecânicas e físicas de CLT de madeira de acácia (*Acácia mangium*). Os autores também afirmam que as falhas por esmagamento e cisalhamento podem ser influenciadas por defeitos internos presentes nos corpo de prova.

Além destas falhas houve a ocorrência de aberturas na linhas de cola após a realização do ensaio, além disso, as aberturas ocorreram principalmente nos corpos de prova de compressão normal (1 e 2). Provavelmente, o maior número de ligações adesivo-madeira e baixa adesão do adesivo à madeira tenham favorecido este tipo de rompimento.

Os adesivos poliuretano (PU) possuem maior eficiência na colagem, por exemplo, menor tempo de cura, menor pressão na colagem, não emitem formaldeído e aceitam maior teor de umidade da madeira (ECKER, 2017). Entretanto, o adesivo poliuretano pela sua baixa viscosidade, pode propiciar uma penetração excessiva do adesivo e uma linha de cola com menor espessura, ocorrendo uma linha de cola faminta, o que pode afetar a resistência mecânica do produto (FARIA et al., 2020).

A Figura 9 evidencia a forma de ruptura dos corpos de prova após os ensaios de cisalhamento na linha de cola na direção paralela e normal às fibras.

**Figura 9** – Modo de ruptura dos corpos de prova dos ensaios de cisalhamento na linha de cola: (1 e 2) Cisalhamento paralelo às fibras; e (3 e 4) Cisalhamento normal às fibras: (A) ruptura na madeira; (B) ruptura na linha de cola.



Fonte: O autor.

Outro fator que influencia na fabricação do painel CLT é a interação entre a matriz e o soluto, no caso a madeira e o adesivo (PEREIRA, 2014). Neste caso, esta interação foi analisada principalmente, pelos ensaios de compressão e de cisalhamento na linha de cola. A partir da análise visual nota-se ruptura na linha de cola (Figura 9).

Em relação às análises das falhas na linha de cola dos corpos de prova colados, pode-se inferir que um maior percentual de falha na linha de cola está relacionado com uma menor eficiência do adesivo. Maiores porcentagens de falha na linha de cola indicam que as ligações adesivas são mais fracas que a própria madeira. Possivelmente, pela baixa viscosidade do

adesivo poliuretano, houve uma elevada penetração, o que resultou em uma baixa espessura da linha de cola.

Segundo Faria et al., (2020), a baixa espessura da linha de cola do adesivo poliuretano pode ser explicada pela baixa viscosidade do adesivo (430,63 cP), sendo muito fluido, o mesmo pode ocorrer uma penetração excessiva na estrutura porosa da madeira. Além disso, outro fator que contribuiu para a excessiva penetração do adesivo foi a alta permeabilidade da madeira de paricá (911,68 cm<sup>3</sup>.cm/atm.s).

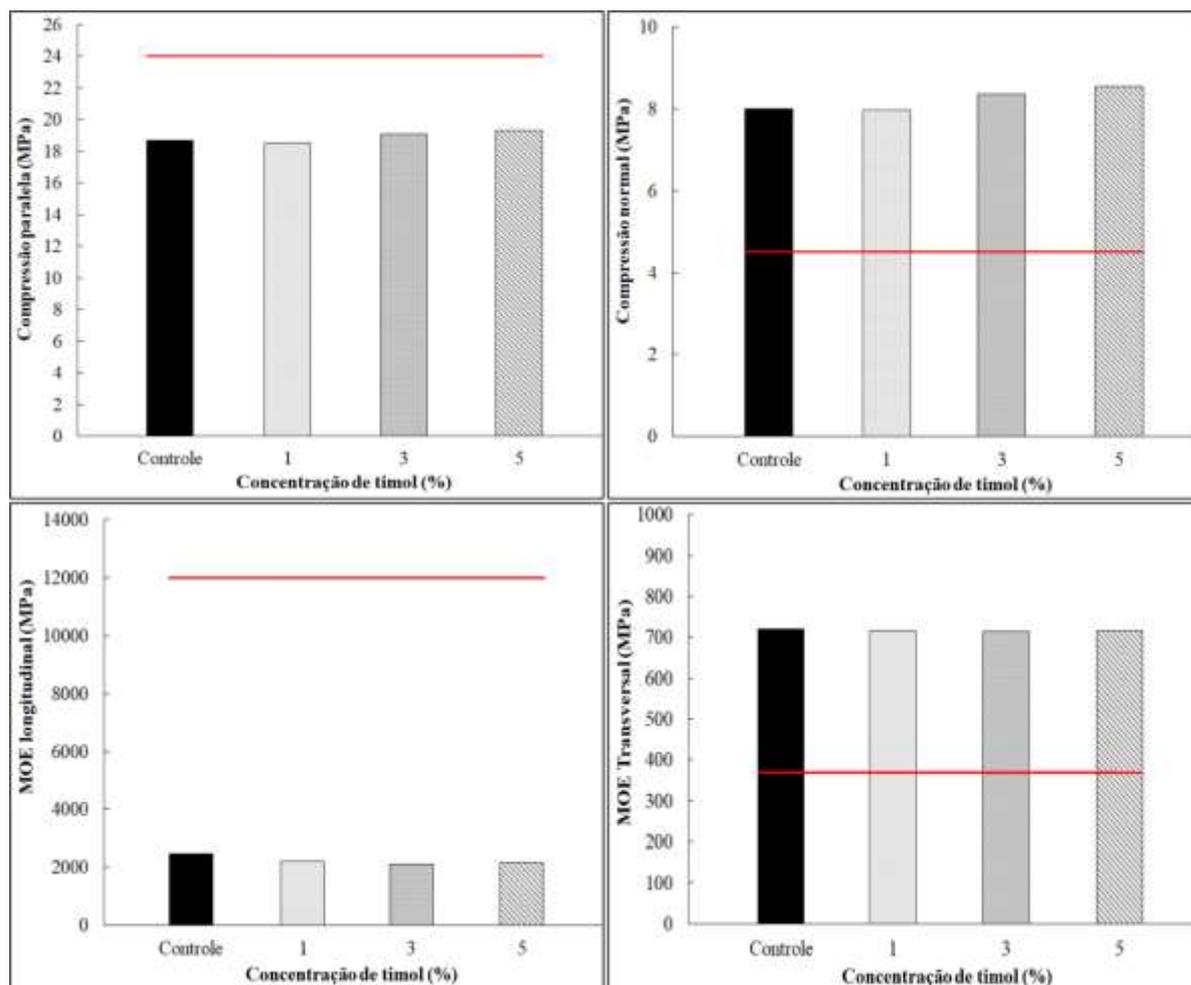
A permeabilidade e a viscosidade do adesivo afetam diretamente as funções de movimento e mobilidade do adesivo (fluidez, transferência, penetração, umedecimento e solidificação) (FREITAS, 2019). A baixa viscosidade do adesivo poliuretano aliada a alta permeabilidade da madeira de paricá provocaram o excesso de penetração do adesivo e produz espessura da linha de cola deficiente (linha de cola faminta), colaborando com o enfraquecimento da junta e diminuindo a sua resistência.

Como alternativa para a melhoria da viscosidade do adesivo e redução da penetração excessiva na madeira, pode-se utilizar como aditivos os extensores e as cargas. Segundo Almeida (2009), os extensores são substâncias à base de amido e proteína que possuem ação adesiva, e tem como função auxiliar no controle da viscosidade e nas função de movimento do adesivo. Já as cargas, são substâncias inertes e sem poder de adesão, com finalidade de aumentar o volume do adesivo e auxiliar no controle da viscosidade. Segundo Freitas et al. (2019), estes aditivos podem corrigir a fluidez de adesivos, reduzir a viscosidade e evitar a super excessiva na superfície da madeira.

#### **4.4.Comparação dos resultados com os valores explicitados na aprovação técnica (ETA 06/0138, 2017).**

Os resultados obtidos nos testes realizados foram comparados com os valores de referência da aprovação técnica europeia *European Technical Approval* - ETA 06/0138 (2017), que é referência para a qualidade de painéis CLT comercializados na Europa (Figura 10).

**Figura 10** – Comparativos das propriedades mecânicas dos painéis CLT de paricá com os valores da ETA 06/0138 (2017) indicados pelas linhas em vermelha nos gráficos



Fonte: O autor.

Comparando os resultados obtidos para as propriedades dos painéis CLT com os valores de referência, nota-se que, os valores obtidos de compressão normal às fibras e MOE transversal foram superiores a ETA 06/0138 (2017). Entretanto, a resistência à compressão paralela às fibras e MOE longitudinal foram inferiores. Os valores do módulo de elasticidade longitudinal e compressão paralela às fibras da norma de referência europeia foram em médias 21 e 80% superiores aos valores obtidos neste trabalho. O resultado desta pesquisa foi semelhante ao obtido por Pereira (2014), para a caracterização estrutural de painéis CLT de *Pinus elliottii*, obteve valor do módulo de elasticidade longitudinal, aproximadamente 64% inferior à norma de referência.

Os valores inferiores deste trabalho em relação à norma europeia, possivelmente podem estar relacionados com a classe de resistência da madeira de paricá (C20), que pela baixa densidade que possui, causa propriedades mecânicas inferiores (ALMEIDA, SCALIANTE;

MACEDO, 2012). Além disso, a baixa densidade da madeira contribuiu para a ocorrência do fenômeno de *rolling shear*, reduzindo com isso as propriedades mecânicas dos painéis CLT.

Outro fator que pode ter contribuído para a redução da resistência dos painéis foi a baixa qualidade da interface adesivo-madeira. A baixa viscosidade do adesivo, aliada a alta permeabilidade da madeira favoreceram uma penetração excessiva do adesivo, levando a ocorrência de uma linha de cola faminta, com quantidade insuficiente de adesivo, reduzindo as propriedades de adesão e conseqüentemente mecânicas do painel (BIANCHE, 2014).

## 5. CONCLUSÕES

A madeira tratada com timol aumentou teve maior densidade, menor umidade de equilíbrio higroscópico e permeabilidade *in natura*.

O tratamento com timol aumentou a densidade do painel CLT, porém não alterou as suas propriedades mecânicas.

Houve *rolling shear*, falhas por delaminação, por compressão, por tração nos corpos de prova do ensaio de flexão.

Os corpos de prova de compressão tiveram falhas por cisalhamento, falhas na linha de cola e falhas por esmagamento.

Os valores obtidos de compressão normal às fibras e MOE transversal atenderam aos requisitos da ETA 06/0138.

Os resultados evidenciaram a viabilidade técnica em produzir painéis CLT de madeira de paricá, no entanto é necessário novos estudos visando avaliar a utilização de outros tipos de adesivos (resorcinol-formaldeído, fenol-resorcinol-formaldeído e melamina-formaldeído, dentre outros); além do uso de cargas e extensores; alterações no número de camadas do CLT; avaliar a utilização de mix de espécies dentro de um mesmo painel CLT.

## 6. REFERÊNCIAS

AICHER, S.; HIRSCH, M.; CHRISTIAN, Z. Hybrid cross-laminated timber plates with beech wood cross-layers. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 1007–1018, 2016.

ALMEIDA, A. C.; HIROSAWA, L. J.; MARIANO, M. I.; SILVA, D. R. Panorama internacional e nacional do uso e aplicação do sistema construtivo *Cross Laminated Timber* – CLT. **Conjecturas**, v.22, n.13, 2022.

ALMEIDA, D. H. SCALIANE, R. M.; CHRISTOFORO, A. L.; VARANDA, L. D.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; JUNIOR, C. C. Tenacidade da madeira como função da densidade aparente. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p.203-207, 2014.

ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. M.; MACEDO, L. B. Madeira laminada colada (MLC) da espécie Paricá. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 12, n. 30, p. 71-82, 2012.

ALMEIDA, V.C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá**. 2009, 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

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

BIANCHE, J. J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura**. 2014. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

BOLGENHAGEN, A.; JUNIOR, J. C. F.; SELLIN, N. Avaliação comparada dos parâmetros físico anatômicos que influenciam na colagem lateral de painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. **Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí**, v.10, n. 17, p. 031-048, 2021.

CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; LAHR, F. A. R.; CALIL JUNIOR, C. Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 989-996, 2014.

CAVALCANTE, A. K. L. **Manufatura experimental e avaliação das propriedades de painéis CLT de alta densidade**. 2022. 79 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2022.

CORPATAUX, L; OKUDA, S.; KUA, H. W. Panel and plate properties of Cross-Laminated Timber (CLT) with tropical fast-growing timber species in compliance with Eurocode. **Construction and Building Materials**, v.261, n.119672, 2020.

COSTA, A. A.; MASCARENHAS, A. R. P.; SANTOS, C. M. M.; FARIA, C. E. T.; DUARTE, P. J. CRUZ, T. M. Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

COSTA, M. A. **Efeito de diferentes estratégias de densificação sobre as propriedades de compensados e painéis de linhas paralelas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. 2015. 148 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2015.

ECKER, T.W.P. **Produção e caracterização mecânica de painéis de Cross Laminated Timber (CLT) para aplicação como placas de piso**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2017.

EROL KARACABEYLI, P.E.; BRAD DOUGLAS, P.E. **CLT Hand Book Cross-Laminated Timber**. U.S. Edition. Department of Agriculture, Forest Service, Forest. Library and Archives Canada Cataloguing in Publication, 572 p., 2013.

ESCOBAR, A.; PÉREZ, M.; ROMANELLI, G.; BLUSTEINB, G. Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. **Arabian Journal of Chemistry**. v.13, p.9243-9269, 2020.

ESPINOZA, O.; BUEHLMANN, U. Cross-Laminated Timber in the USA: Opportunity for Hardwoods?. **Current Forestry Reports**. v.4, p.1–12, 2018.

**European Technical Approval - ETA 06/0138. KLH MassivHolzplatten**. European Organisation for Technical Approvals. Viena, AT, p. 43. 2017.

FARIA, D. L.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. Estudo do comportamento mecânico de madeira laminada colada de *Hevea brasiliensis* produzida com adesivo poliuretano. **Scientia Forestalis**, v48, n.126, p.3231, 2020.

FERRO, F. S.; ICIMOTO, F.H.; SOUZA, A.M.; ALMEIDA, D.H.; CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F.A.R. Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 313-320, 2015.

FREITAS, F. T.; JESUS, M. S.; VITAL, B. R.; VEIGA, T. R. L. A.; XISTO, M. F. Potencial da desmetilação da lignina na produção de adesivo para colagem de lâminas de madeira. **Ciência da Madeira**, v.10, n.3, p.216-222, 2019.

FREITAS, T. P. **Colagem e soldagem de madeira termorretrificada de *Fraxinus excelsior***. 2019. 120 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

FU, Q.; CLOUTIER, A.; LAGHDIR, A. Optimization of the thermo-hygro-mechanical (THM) process for sugar maple wood densification. **BioResources**, v. 11, n. 4, 2016.

GARDNER, C.; DAVIDS, W. G.; LOPEZ-A, R.; HERZOG, B.; EDGAR, R.; NAGY, E.; BERUTE, K.; SHALER, S. The effect of edge gaps on shear strength and rolling shear modulus of cross laminated timber panels. **Construction and Building Materials**, v. 259, p. 119710, 2020.

GOMES, J.M.; SILVA, J.C F.; VIEIRA, S B.; CARVALHO, J.O.P.; OLIVEIRA, L.C.L. Q.; QUEIROZ, W.T. *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby pode ser utilizada em enriquecimento de clareiras de exploração florestal na Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 417-424, 2019.

KARACABEYLI, E.; GAGNON, S. **Canadian CLT Handbook, Fpinnovations.CA**. Special Publication, Pointe-Claire, QC, , v.1. 812 p, 2019.

LIÃO, Y.; TU, D.; ZHOU, J.; ZHOU, H.; YUN, C.; GU, J. HUA, C. Feasibility of manufacturing Cross-Laminated Timber using fast-grown small diameter *Eucalyptus* lumbers. **Construction and Building Materials**, v.132, n.1, p.508-515, 2017.

LIMA, D.S.; MAIARA, R.; CALVACANTI, C.B.; DOS SANTOS, B.H.C.; LIMA, I.O. Estudo da atividade antibacteriana dos monoterpenos timol e carvacrol contra cepas de *Escherichia coli* produtoras de  $\beta$ -lactamases de amplo espectro. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 8, n. 1, p. 17-21, 2017.

LIMA, L. S.; NASCIMENTO, S. L.; SANTOS, M. C.; NASCIMENTO, B. L. M. CÉSAR, S. F.; DIAS, J. M. S. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) utilizada na indústria de compensados no Estado do Maranhão. **Research, Society and Development**, v. 11, n.9, 2022.

LI, M. Evaluating rolling shear strength properties of cross-laminated timber by short-span bending tests and modified planar shear tests. **Journal of Wood Science**, v. 63, n. 4, p. 331–337, 2017.

LI, M.; ZHAN, S.; GONG, Y.; TIAN, Z.; REN, H. Gluing techniques on bond performance and mechanical properties of Cross-Laminated Timber (CLT) Made from *Larix kaempferi*. **Polymers**, v.13, p.733, 2021.

MACHADO, J. F.; HILLIG, E.; WATZLAWICK, L. F.; BEDNARCZUK, E.; TAVARES, E. L. Production of plywood panel for exterior use with paricá and embaúba timbers. **Revista Árvore**, v.42, n. 4, p.420406, 2018.

MACIEL, V. O. B. **Obtenção e caracterização de micropartículas de zeína carregadas com timol**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Departamento de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.

MALLO, M. F. L.; ESPINOZA, O. A. Outlook for *Cross-Laminated Timber* in the United States. **BioResources**, v.9, n.4, p. 7427-7443, 2014.

MANRÍQUEZ, M.J.; MORAES, P.D. Influence of the temperature on the compression strength parallel to grain of paricá. **Construction and Building Materials**, v.24, n.1, p.99-104, 2010.

MATTOS, B. D.; TARDY, B.L.; PEZMAN, M.; KAMARAINEN, T.; LINDER, M.; SCHREINER, W.H.; MAGALHÃES, W.L.E.; ROJAS, O.J. Controlled biocide release from hierarchically-structured biogenic sílica: surface chemistry to tune release rate and responsiveness. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11. 2018.

MICHAEL, K. D. **Evaluation of the bonding quality of e. Grandis cross-laminated timber made with a one-component polyurethane adhesive**. 2018. 80 f. Thesis (MScFor) – Stellenbosch University, 2018.

MODES, K. S.; JÚNIOR, G. B.; VIVIAN, M. A.; SANTOS, L. M. H. Propriedades físico-mecânicas da madeira sólida de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. **Advanced in Forestry Science**, v. 7, n. 2, p. 989-995, 2020

MOHAMMAD, M.; GAGNON, S.; DOUGLAS, B. K.; PODESTO, L. Introduction to cross laminated timber. **Wood Design Focus**, v. 22, n. 2, p. 3-12, 2012.

MORITANI, F. Y. Proposta de classes de resistência para peças estruturais de madeira: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda* e *Schizolobium amazonicum* (paricá). 2018. 178 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2018.

OHASHI, S.T.; YARED, J.A.G.; NETO, J.T.F. Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares – Pará. **Acta Amazonica**, v.40, n.1, p.81-88, 2010.

OLIVEIRA, A. C. **Secagem de toras de eucalipto**. 2015. 81 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

OLIVEIRA, S. S.; NASCIMENTO, G. O. SOUZA, D. P. NASCIMENTO, L. O.; OLIVEIRA, S. S. GONÇALVES, J. F. C.; FERREIRA, J. B.; OLIVEIRA, E. Growth of parica seedlings (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) cultivated in different organic substrates. **African Journal of Agricultural Research**, v.14, n.6, p. 303-310, 2019.

PELIT, H.; YALÇIN, M. Resistance of mechanically densified and thermally posttreated pine sapwood to wood decay fungi. **Journal of Wood Science**, v. 63, n. 5, p. 514–522, 2017.

PEREIRA, M. C. M. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de Madeira Laminada Colada Cruzada**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014.

PERTUZZATTI, A; MISSIO, A. L.; CADEMARTORI, P. H. G.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; BERGER, C.; GATTO, D. A.; TONDI, G. Effect of process parameters in the thermomechanical densification of *Pinus elliottii* and *Eucalyptus grandis* fast-growing wood. **BioResources**, v. 13, n. 1, p. 1576–1590, 2018.

PILOCELLI, A.; STANGERLIN, D.M.; PEREIRA, R.L.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E.; SUSIN, F. Resistência natural das madeiras de cumaru, cedrinho e paricá submetidas a ensaios de deterioração de campo. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p.1-10, 2015.

RAMAGE, M.H.; BURRIDGE, H.; BUSSEWICHER, M.; FEREDAY, G.; REYNOLDS, T.; SHAH, D. U.; WU, G.; YU, L.; FLEMING, P.; DENSLEY-TINGLEY, D. The wood from the trees: The use of timber in construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.68, p. 333-359, 2017.

RIBEIRO, V. C. N. **Caracterização anatômica da matéria-prima e avaliação das propriedades tecnológicas de painéis MDF de madeira de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke e de resíduos de espécies da Amazônia**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2015.

ROSA, L.S. Características botânicas, anatômicas e tecnológicas do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Revista de Ciências Agrárias**, v.1, n. 46, p.63-79, 2006.

SANTOS, A.A.; OLIVEIRA, B.M.S.; MELO, C.R.; LIMA, A.P.S.; SANTANA, E.D.R.; BLANK, A.F.; PICAÇO, M.C.; ARAÚJO, A.P.A.; CRISTALDO, P.F.; BACCIA, L. Sublethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v.145, p.436-441, 2017.

SEGUNDINHO, P. G. A.; GONÇALVES, F. G.; GAVA, G. C. TINTI, V. P.; ALVES, S. D.; REGAZZI, A. J. Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC). **Revista Matéria**, v.22, n.2, 2017.

SILVA, C.M.S. **Pré-hidrólise e densificação termomecânica da madeira de pinus**. 2019. 72f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes - ASTM. **Test Methods D 198 – 27**. West Conshohocken, United States.

TEREZO, R.F.; LOPEZ, G.C.; SAMPAIO, C.A.P.; BOURSCHEID, C.B. Resistência da madeira tratada de paricá ((*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) ao ataque de cupins. **Ciência da Madeira**, v.8, n.3, p.187-193, 2017.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; MOULIN, J. C.; SILVA, J. G. M.; SORANSO, D. R. Physical and mechanical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. **Revista Árvore**, v.42, n.1, p.1-9, 2018.

VILELA, R. **Desempenho estrutural de placas de *Cross Laminated Timber* submetidas à flexão**. 2020. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2020.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

XIE, Y.; WANG, Z.; HUANG, Q.; ZHANG, D. Antifungal activity of several essential oils and major components against wood-rot fungi. **Industrial Crops and Products**. v.108, p.278–285. 2017.

ZAHRAN, H.; ABDELGALEIL, S. Insecticidal and developmental inhibitory properties of monoterpenes on *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae). **Journal of Asiapacific Entomology**. v. 14, n. 1, p. 46-51, 2011.

ZHANG, Z.; YANG, T.; MI, N.; WANG, Y.; LI, GUOYUAN, L.; WANG, L.; XIE, Y. Antifungal activity of monoterpenes against wood white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.106, p.57-160, 2016.

YUSOF, N. M.; TAHIR, P.M.; LEE, S. H.; KHAN, M. A.; JAMES, R. M. S. Mechanical and physical properties of Cross-Laminated Timber made from *Acacia mangium* wood as function of adhesive types. **Journal of Wood Science**, v.65, n. 20, 2019.

YUSOH, A. S.; THAIR, P. M.; UYUP, M. K. A.; LEE, S. H.; HUSAIN, H. KHAIDZIR, M. O. Effect of wood species, clamping pressure and glue spread rate on the bonding properties of Cross-Laminated Timber (CLT) manufactured from tropical hardwood. **Construction and Building Materials**. v.273, n.1, p.121721, 2020.