

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir
de 01/03/2025

KARINA APARECIDA DE OLIVEIRA

Avaliação da qualidade de colagem de elementos de MLC produzidos com diferentes combinações espécie-adesivo e diferentes acabamentos superficiais para as lamelas

Karina Aparecida de Oliveira

Avaliação da qualidade de colagem de elementos de MLC produzidos com diferentes combinações espécie-adesivo e diferentes acabamentos superficiais para as lamelas

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do título de Doutora em Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Molina
Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Ventrone

Guaratinguetá - SP
2023

O48a

Oliveira, Karina Aparecida de
Avaliação da qualidade de colagem de elementos de
MLC produzidos com diferentes combinações
espécie-adesivo e diferentes acabamentos superficiais para
as lamelas / Karina Aparecida de Oliveira - Guaratinguetá,
2023.

142 f : il.

Bibliografia: f. 125-142

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Molina

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Ventorim

1. Resistência ao cisalhamento. 2. Lâminas de madeira.
3. Indústria madeireira. 4. Vigas de madeira. I. Título.

CDU 674(043)

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A tese oferece contribuições significativas tanto no âmbito científico quanto prático ao preencher lacunas identificadas na literatura relacionadas à influência de diversos fatores na qualidade de colagem de elementos de MLC (Madeira Laminada Colada). Estes fatores incluem o tipo de adesivo utilizado e o acabamento superficial das lamelas, e seu impacto na resistência e rigidez desses elementos de MLC fabricados com diferentes espécies de madeira de reflorestamentos recentemente introduzidas no Brasil. Portanto, a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento científico e para o setor industrial ao abordar questões cruciais relacionadas à qualidade da colagem e desempenho dos elementos de MLC em um contexto de uso de madeiras de reflorestamento promissoras no Brasil, e que possuem potencial de atender à crescente demanda por produtos de madeira e oferecer alternativas economicamente viáveis e de rápido crescimento para o mercado

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The thesis offers significant contributions both in the scientific and practical domains by addressing identified gaps in the literature regarding the influence of various factors on the adhesive quality of Glued Laminated Timber (Glulam) elements. These factors encompass the type of adhesive used and the surface finish of the lamellae, along with their impact on the strength and stiffness of these Glulam elements manufactured using different species of wood from recent reforestation efforts in Brazil. Therefore, the research contributes to the advancement of scientific knowledge and the industrial sector by addressing crucial issues related to adhesive quality and the performance of Glulam elements in the context of using promising reforestation wood species in Brazil. These species have the potential to meet the growing demand for wood products and offer economically viable and rapidly growing alternatives to the market.

KARINA APARECIDA DE OLIVEIRA

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTORA EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES**
Data: 13/09/2023 10:30:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **JULIO CESAR MOLINA**
Data: 01/09/2023 18:09:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. JULIO CESAR MOLINA
Orientador – USP
Participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUIS CHRISTOFORO**
Data: 04/09/2023 13:48:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ANDRE LUIS CHRISTOFORO
UFSCar
Participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR**
Data: 04/09/2023 14:01:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR
USP
Participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **SANDRO FABIO CESAR**
Data: 01/09/2023 22:55:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. SANDRO FÁBIO CESAR
Universidade Federal da Bahia
Participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **CESAR AUGUSTO GALVAO DE MORAIS**
Data: 04/09/2023 12:57:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CÉSAR AUGUSTO G. DE MORAIS
UNESP
Participou por videoconferência

Setembro de 2023

DADOS CURRICULARES

KARINA APARECIDA DE OLIVEIRA

NASCIMENTO	31.01.1989 – Itapeva / SP
FILIAÇÃO	Marlos Almeida de Oliveira Silvana de Jesus Barros Oliveira
2005/2006	Curso Técnico Técnico em informática – ETEC Dr. Demétrio Azevedo Junior
2007/2013	Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira Engenharia Industrial Madeireira – UNESP/Itapeva.
2016/2018	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP/Guaratinguetá
2019/2023	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP/Guaratinguetá

Dedico este trabalho à Deus e à minha família, responsáveis
por me dar a força necessária para seguir em frente e
alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de vida e sabedoria, por sempre me guiar e iluminar meu caminho.

Aos meus pais, Silvana e Marlos, que sempre incentivaram meus estudos. À minha irmã Carolina por me estressar e apoiar durante todo esse caminho, à minha sobrinha Maria Eduarda por deixar os meus dias mais leves e cheios de cor, e ao meu anjinho José Luiz Gustavo (*in memoriam*).

Ao meu orientador Prof. Dr. Julio Cesar Molina pela paciência, força de vontade, dedicação, orientação e amizade durante esse longo período.

Aos meus amigos de pós-graduação Natália Bianchi, Vitor Neves e João Vitor, pelo auxílio durante a realização desse trabalho, seja durante os ensaios, discussões referentes ao tema, ou nas longas conversas aleatórias enquanto tomávamos café.

Aos técnicos de laboratório que colaboraram para a realização deste trabalho, em especial aos técnicos e amigos Juliano Brito (*in memoriam*) e Thiago Sorocaba.

Aos professores Prof.^a Dr.^a Cristiane e Prof, Dr. Alexandre, por toda a ajuda em momentos de crises durante o desenvolvimento da pesquisa, e pela amizade em toda a minha caminhada acadêmica, da graduação ao doutorado.

À empresa Vale do Cedro pela doação das madeiras utilizadas para a realização do presente trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), código de financiamento 001, pela concessão de bolsa de doutorado, a qual me proporcionou meios para execução deste trabalho.

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

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas”.

Carl Sagan

RESUMO

A Madeira Lamelada Colada (MLC) é um produto estrutural engenheirado utilizado na construção civil no Brasil e no mundo. Esse produto requer um alto controle de qualidade na sua produção, além da escolha correta da combinação espécie/adesivo. Nesta pesquisa realizou-se o estudo de diferentes combinações espécie-adesivo-acabamento para elementos de MLC produzidos com madeiras de reflorestamento (Cedro australiano e Cedro indiano), adesivos estruturais (poliuretano bicomponente e resorcinol-formaldeído) e diferentes níveis de acabamentos da superfície das lamelas (aplainamento e lixamentos com gramatura 80, 120 e 220) com o objetivo de avaliar a influência da rugosidade superficial das lamelas na resposta de ensaios de delaminação e de resistência ao cisalhamento das linhas de cola. Para tanto, a avaliação da qualidade de colagem dos elementos de MLC produzidos foi realizada de acordo com a ABNT NBR 7190-6 (2022) que tem como base a EN 14080 (2013). Foi realizada a caracterização físico-mecânica das madeiras e determinada a rigidez (MOE) e a resistência (MOR) à flexão das vigas produzidas. Todas as combinações espécie-adesivo-acabamento apresentaram porcentagem de delaminação abaixo do limite de 6% permitido para folhosas com predominância de maior porcentagem de ruptura na madeira, indicando boa qualidade de colagem. O acabamento superficial com lixamento das lamelas não foi considerado um fator de influência nos resultados segundo a ANOVA. Para ambas as madeiras, os melhores resultados de rigidez (MOE) e de resistência à flexão (MOR) foram obtidos para os elementos com acabamento superficial gerado por aplainamento somente, sendo que para o Cedro australiano foram obtidos os valores de MOE e MOR iguais a 7315 MPa e 49,78 MPa, respectivamente para o adesivo poliuretano, e de 7955 MPa e 53,43 MPa para o adesivo resorcinol-formaldeído. Para o Cedro indiano os valores de MOE e MOR obtidos foram 7951 MPa e 60,44 MPa, respectivamente, para o adesivo poliuretano, e 7959 MPa e 59,18 MPa para o adesivo resorcinol-formaldeído. Para a rigidez e resistência à flexão, a ANOVA não considerou significativa a interação dos fatores tipo de adesivo e acabamento para nenhuma das combinações estudadas, sendo que para o MOE E MOR apenas o tipo de acabamento superficial das lamelas influenciou nos resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: resistência ao cisalhamento; acabamento; delaminação; rugosidade superficial; qualidade de colagem.

ABSTRACT

Glued Laminated Timber (Glulam) is an engineered structural product used in construction worldwide, including in Brazil. This product requires high-quality control in its production, as well as the correct choice of species/adhesive combination. In this research, different species-adhesive-finish combinations were studied for Glulam elements made from reforestation woods (Australian cedar and Indian cedar), structural adhesives (two-component polyurethane and resorcinol-formaldehyde), and different levels of surface finishes (with thicknessing plane and with 80, 120 and 220 grit sandpaper) to evaluate the influence of surface roughness on delamination tests and shear strength of glue lines. For this purpose, the evaluation of the bonding quality of the produced Glulam elements was performed according to ABNT NBR 7190-6 (2022), which is based on EN 14080 (2013). The physical and mechanical characterization of the woods was conducted, and the modulus of elasticity (MOE) and bending strength (MOR) of the produced beams were determined. All species-adhesive-finish combinations exhibited delamination percentages below the 6% limit allowed for hardwoods, with a predominance of wood failure, indicating good bonding quality. According to the ANOVA analysis, the surface finish with the sanding of the lamellas was not considered an influencing factor in the results. For both types of wood, the best stiffness (MOE) and flexural strength (MOR) were obtained for elements with surface finish generated only by thicknessing plane. For Australian cedar, the values of MOE and MOR were found to be 7315 MPa and 49.78 MPa, respectively, for the combination AP, 7955 MPa, and 53.43 MPa for the combination AF. For Indian Cedar, the obtained values for MOE and MOR were 7951 MPa and 60.44 MPa, respectively, for the combination IP, and 7959 MPa, and 59.18 MPa for the combination IF. For stiffness and flexural strength, the ANOVA did not consider the interaction between adhesive type and surface finish significant for any of the studied combinations. Only the type of surface finish of the lamellas influenced the results obtained for MOE and MOR. In the flexural tests of the Glulam beams produced with both cedar kinds of wood, there was a predominance of tensile failure in the tension region (lower lamella).

KEYWORDS: shear strength of glue lines; surface finish; delamination; surface roughness; glue quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de confecção de um elemento de MLC.	23
Figura 2 – Construções utilizando elementos estruturais de MLC.....	24
Figura 3 – Tipos de emenda em elementos de MLC.....	25
Figura 4 – Cadeia produtiva da madeira no Brasil em 2021.	27
Figura 5 – Madeira de <i>Eucalypto grandis</i>	29
Figura 6 – Madeira de <i>Pinus elliottii</i>	30
Figura 7 – Madeira de Cedro australiano.	31
Figura 8 – Madeira de Cedro indiano.....	33
Figura 9 – Comprimentos considerados para avaliação da rugosidade.....	37
Figura 10 – Representação do parâmetro R_a	38
Figura 11 – Corpo de prova para o ensaio de cisalhamento da linha de cola.....	53
Figura 12 – Dispositivo para o ensaio de cisalhamento na linha de cola.	54
Figura 13 – Corpo de prova para o ensaio de delaminação.....	55
Figura 14 – Forma de disposição dos corpos de prova de MLC na estufa.....	56
Figura 15 – Seção transversal a ser considerada na avaliação da delaminação.	56
Figura 16 – Publicações de pesquisadores brasileiros com o termo “ <i>glulam</i> ”.....	61
Figura 17 – Publicações internacionais com o termo “ <i>glulam</i> ”.	62
Figura 18 – Quantidade de publicações com os termos “ <i>glulam</i> ”, “ <i>Pinus</i> ” e “ <i>Eucalyptus</i> ”...62	
Figura 19 – Processos de: (a) Aplainamento; (b) Seccionamento para obtenção das lamelas. 67	
Figura 20 – Controle de secagem das lamelas: (a) Entabicação; (b) Acompanhamento da secagem das lamelas.	68
Figura 21 – Corpo de prova para ensaio de resistência à compressão paralela às fibras.	70
Figura 22 – Corpo de prova para ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.	71
Figura 23 – Ensaio de caracterização mecânica dos corpos de prova.	72
Figura 24 – Gabarito confeccionado em acrílico para auxiliar na medição dos nós.	73
Figura 25 – Seção transversal das vigas de MLC para ensaios de delaminação e cisalhamento das linhas de cola.	74
Figura 26 – Seção transversal das vigas de MLC para ensaios de resistência à flexão.....	75
Figura 27 – Aplainamento das lamelas em plaina desgrossadeira.....	75
Figura 28 – Medição da rugosidade superficial das superfícies das lamelas.	76
Figura 29 – Determinação da viscosidade com Copo Ford.....	77
Figura 30 – Aplicação do adesivo nas lamelas de madeira.	78

Figura 31 – Prensagem dos elementos de MLC: (a) Prensa industrial de chão; (b) Aplicação de pressão de colagem utilizando torquímetro.	79
Figura 32 – Prensagem das vigas em prensa industrial.	80
Figura 33 – Padronização dos elementos de MLC produzidos.	81
Figura 34 – Corpos de prova para delaminação e cisalhamento das linhas de cola.	81
Figura 35 – Corte das peças para preparação das amostras de microscopia óptica.....	82
Figura 36 – Preparação das amostras: (a) Saturação em câmara de vácuo; (b) Cozimento.	83
Figura 37 – Preparação das lâminas: (a) Corte das amostras no micrótomo; (b) Lâminas para microscopia prontas.	83
Figura 38 – Análise das amostras no microscópio de luz transmitida.....	84
Figura 39 – Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola.	85
Figura 40 – Esquema utilizado para quantificação da porcentagem de ruptura.	86
Figura 41 – (a) Medição e (b) pesagem dos corpos de prova de delaminação.....	87
Figura 42 – Autoclave utilizada para o ensaio de delaminação da linha de cola.	87
Figura 43 – Corpos de prova no interior da autoclave para ensaio de delaminação.	88
Figura 44 – Corpos de prova após ciclos de pressão e vácuo em autoclave: (a) Corpos de prova saturados; (b) Corpos de prova na na câmara climatizadora.....	89
Figura 45 – Ensaio de flexão dos elementos de MLC.....	90
Figura 46 – Microscopia da superfície das lamelas de Cedro australiano (escala: 500 μm)....	97
Figura 47 – Microscopia da superfície das lamelas de Cedro indiano (escala: 500 μm).	97
Figura 48 – Interface madeira-adesivo dos elementos de MLC de Cedro australiano colado com poliuretano AG101 (Escala 500 μm).	100
Figura 49 – Interface madeira-adesivo dos elementos de MLC de Cedro australiano colado com Cascophen RS-216-M (Escala 500 μm).....	101
Figura 50 – Interface madeira-adesivo dos elementos de MLC de Cedro indiano colado com poliuretano AG101 (Escala 500 μm).	102
Figura 51 – Interface madeira-adesivo dos elementos de MLC de Cedro indiano colado com Cascophen RS-216-M (Escala 500 μm).....	102
Figura 52 – (a) Gráfico de Pareto e (b) Gráfico de interação da resistência ao cisalhamento das linhas de cola dos elementos de MLC de Cedro australiano.	105
Figura 53 – (a) Gráfico de Pareto e (b) Gráfico de interação da resistência ao cisalhamento das linhas de cola dos elementos de MLC de Cedro indiano.	106
Figura 54 – (a) Gráfico de Pareto e (b) Gráfico de interação da porcentagem de ruptura na madeira dos elementos de MLC de Cedro australiano.....	108

Figura 55 – (a) Gráfico de Pareto e (b) Gráfico de interação da porcentagem de ruptura na madeira dos elementos de MLC de Cedro indiano.	109
Figura 56 – Corpos de prova de Cedro australiano: (a) Sem sofrer delaminação, e (b) delaminação dentro do limite máximo permitido de 6%.	110
Figura 57 – Corpos de prova de Cedro indiano: (a) Sem sofrer delaminação, e (b) delaminação dentro do limite máximo permitido de 6%.	112
Figura 58 – Modos de ruptura dos MLC de Cedro australiano com adesivo poliuretano.....	117
Figura 59 – Modos de ruptura dos MLC de Cedro australiano com adesivo resorcinol-formaldeído.	118
Figura 60 – Modos de ruptura dos MLC de Cedro indiano com adesivo poliuretano.	119
Figura 61 – Modos de ruptura dos MLC de Cedro indiano com adesivo resorcinol-formaldeído.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de serviço dos elementos estruturais de MLC.	47
Tabela 2 – Porcentagens máximas permitidas para delaminação da linha de cola de acordo com o número de ciclos de vácuo-pressão realizados.....	48
Tabela 3 – Critérios de classificação visual para coníferas.	50
Tabela 4 – Critérios de classificação visual para folhosas.	51
Tabela 5 – Critérios de classificação mecânica para coníferas.	52
Tabela 6 – Critérios de classificação mecânica para folhosas.....	52
Tabela 7 – Resumo dos limites de delaminação para cada ambiente de exposição.	53
Tabela 8 – Resumo dos métodos de delaminação.	58
Tabela 9 – Identificação das combinações madeira-adesivo-acabamento utilizadas.	93
Tabela 10 – Resultados da caracterização física do Cedro australiano e indiano.	94
Tabela 11 – Resultados da caracterização mecânica do Cedro australiano e indiano, U = 12%.	95
Tabela 12 – Valores de rugosidade superficial média (Ra) para as lamelas de madeira.....	96
Tabela 13 – Resultados da espessura das linhas de cola das vigas de Cedro australiano.	98
Tabela 14 – Resultados da espessura das linhas de cola das vigas de Cedro indiano.....	99
Tabela 15 – Resistências ao cisalhamento das linhas de cola para os elementos de MLC fabricados com Cedro australiano.....	103
Tabela 16 – Resistências ao cisalhamento das linhas de cola para os elementos de MLC fabricados com Cedro indiano.....	104
Tabela 17 – Modos de ruptura nas regiões de colagem dos elementos de Cedro australiano.	107
Tabela 18 – Modos de ruptura nas regiões de colagem dos elementos de Cedro indiano.	107
Tabela 19 – Resultados médios de delaminação dos elementos de Cedro australiano.	109
Tabela 20 – Resultados médios de delaminação dos elementos de Cedro indiano.....	111
Tabela 21 – Modos de ruptura nas regiões de colagem e porcentagem de delaminação dos elementos de Cedro australiano.	113
Tabela 22 – Modos de ruptura nas regiões de colagem e porcentagem de delaminação dos elementos de Cedro indiano.	113
Tabela 23 – Rigidez e resistência à flexão dos elementos de MLC fabricados com Cedro australiano.	114

Tabela 24 – Resultados do teste de Tukey do fator “tipo de adesivo” dos elementos de MLC fabricados com Cedro australiano.....	115
Tabela 25 – Rigidez e resistência à flexão dos elementos de MLC fabricados com Cedro indiano.....	116
Tabela 26 – Resultados do teste de Tukey do fator “tipo de adesivo” dos elementos de MLC fabricados com Cedro indiano.	117

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	GERAL.....	20
2.2	ESPECÍFICOS	20
2.3	JUSTIFICATIVA.....	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1	MADEIRA LAMELADA COLADA	23
3.2	ESPÉCIES DE MADEIRAS UTILIZADAS PARA MLC.....	26
3.2.1	Eucalipto grandis (<i>Eucalyptus grandis</i>).....	28
3.2.2	Pinus elliottii (<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>).....	29
3.2.3	Cedro australiano (<i>Toona ciliata</i>)	31
3.2.4	Cedro indiano (<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>).....	32
3.3	FATORES QUE AFETAM A COLAGEM.....	34
3.3.1	Densidade da madeira.....	34
3.3.2	Porosidade e permeabilidade da madeira	34
3.3.3	Teor de umidade da madeira	35
3.3.4	Teor de extrativos da madeira	36
3.3.5	Rugosidade da superfície da madeira.....	36
3.3.6	Molhabilidade do adesivo	38
3.3.7	Viscosidade do adesivo.....	38
3.3.8	pH do adesivo.....	39
3.3.9	Pressão e tempo de colagem	39
3.3.10	Temperatura de colagem	40
3.4	ADESIVOS UTILIZADOS PARA MLC	40
3.4.1	Adesivo à base de Resorcinol-Formaldeído	41
3.4.2	Adesivo à base de Poliuretano	42
3.5	NORMAS INTERNACIONAIS DE CONTROLE DA QUALIDADE DA MLC....	43
3.5.1	Normas americanas: ASTM D2559, D4688 e D198.....	44
3.5.2	Normas canadenses: CSA 112.9 e CSA 112.10	45
3.5.3	Normas europeias: EN 14080 e EN 408.....	46
3.6	NORMA BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE DA MLC	48
3.6.1	Norma ABNT NBR 7190-2	50
3.6.2	Norma ABNT NBR 7190-6	52
3.7	ESTUDOS COM MLC REALIZADOS NO BRASIL	58

3.8	ESTUDOS COM FATORES QUE AFETAM A COLAGEM.....	63
3.9	CONCLUSÕES GERAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	65
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	67
4.1	CORPOS DE PROVA DE CARACTERIZAÇÃO DAS MADEIRAS.....	67
4.2	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	68
4.2.1	Caracterização física das espécies de madeiras	69
4.2.2	Caracterização mecânica das espécies de madeiras	70
4.3	CLASSIFICAÇÃO VISUAL DAS LAMELAS	73
4.4	PREPARAÇÃO DAS LAMELAS.....	74
4.4.1	Separação das lamelas.....	74
4.4.2	Acabamento das superfícies das lamelas.....	75
4.4.3	Medição da rugosidade das superfícies	76
4.5	FABRICAÇÃO DAS VIGAS DE MLC	77
4.5.1	Determinação da viscosidade dos adesivos	77
4.5.2	Colagem do MLC	78
4.5.3	Confecção dos corpos de prova para os testes de qualidade de colagem	81
4.6	ENSAIO DE MICROSCOPIA ÓPTICA	82
4.7	ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS LINHAS DE COLA ..	85
4.8	ENSAIOS DE DELAMINAÇÃO DAS LINHAS DE COLA	86
4.9	ENSAIO DE FLEXÃO DA VIGA	89
4.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	91
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS ESPÉCIES.....	94
5.2	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS ESPÉCIES	95
5.3	RUGOSIDADE DAS SUPERFÍCIES DAS LAMELAS	96
5.4	ANÁLISE DA INTERFACE MADEIRA-ADESIVO.....	98
5.5	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS LINHAS DE COLA	103
5.5.1	Análise dos modos de ruptura nas regiões de colagem	106
5.6	DELAMINAÇÃO DAS LINHAS DE COLA	109
5.7	COMPARATIVO ENTRE MODO DE RUPTURA E DELAMINAÇÃO	112
5.8	RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS VIGAS.....	114
5.8.1	Análise dos modos de ruptura na flexão	117
6	CONCLUSÃO	122
	REFERÊNCIAS	125

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria da construção civil é uma das mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do país, porém é uma das grandes geradoras de impactos ambientais pela exploração e consumo excessivo dos recursos naturais (LINTZ *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2012).

Dentro deste contexto, a madeira é um material de extrema importância para a indústria da construção civil, pois consiste em uma matéria prima renovável, portanto, de menor impacto ambiental, com baixo consumo energético para sua produção, e que possui alta relação resistência-peso, sendo concorrente direta dos materiais mais utilizados na construção, como o aço e o concreto.

A Madeira Lamelada Colada (MLC) é uma opção para a confecção de estruturas de madeira, e trata-se de um produto engenheirado obtido pela associação de lamelas coladas de madeira com adesivos estruturais sintéticos (SEGUNDINHO *et al.*, 2013).

Esse tipo de produto pode ser utilizado na composição de estruturas de grandes vãos, pontes, edifícios, entre outras estruturas, pois tem a vantagem de permitir elementos com grandes dimensões e diferentes formas, além de alta resistência às solicitações mecânicas, que são obtidas pela escolha correta das espécies de madeira associada ao processo de classificação das lamelas componentes das peças de MLC (ZANGIÁCOMO e ROCCO LAHR, 2007).

A MLC possui um mercado que é praticamente inexistente no Brasil, apesar da grande necessidade de madeira com propriedades uniformes e características técnicas, econômicas e estéticas necessárias à construção civil, são poucas as indústrias que produzem elementos estruturais de MLC, resultando em um alto custo para esse produto (GARBE *et al.*, 2019).

Por ser um produto engenheirado relativamente novo no Brasil, muitos estudos ainda devem ser realizados, seja para definir os parâmetros de produção do produto, como também para avaliar sua qualidade final em condições de serviço.

Para a confecção dos elementos de MLC, as indústrias usam como matéria prima lamelas provenientes de espécies de coníferas e dicotiledôneas de reflorestamento, sendo as espécies mais comuns no Brasil o Pinus e o Eucalipto. Porém, o país busca introduzir em seu território outras espécies para reflorestamento, aumentando as possibilidades do mercado com alternativas rentáveis e de rápido crescimento, como é o caso da madeira das espécies Cedro australiano e Cedro indiano.

Na região de Itapeva, estado de São Paulo, a empresa Vale do Cedro possui uma área total de mais de 2.500 hectares de floresta plantada das espécies Pinus e Eucalipto, e das espécies Cedro indiano e Cedro australiano. Como citado anteriormente, o Pinus e o Eucalipto são as principais espécies utilizadas pelas indústrias para confecção da MLC, mas sobre os cedros ainda não existem estudos quanto ao seu desempenho para essa finalidade, como também existem poucos resultados avaliando as suas propriedades físicas e mecânicas.

Além da espécie de madeira utilizada na confecção do elemento MLC, outros fatores devem ser levados em consideração, dentre eles: a densidade e porosidade da madeira, a rugosidade superficial das lamelas, as espessuras e posições das lamelas na seção transversal do elemento, o uso ou não de tratamento preservante, o tipo de adesivo, a pressão de colagem, entre outros fatores que podem afetar significativamente a qualidade e a resistência mecânica final do material.

De forma geral, durante a produção dos elementos é necessário que se busque maior agilidade no processo de produção, como também a redução dos custos, sempre que possível. Porém, para atingir esses objetivos, é preciso tomar decisões de forma segura e objetiva, sendo necessário realizar estudos para que todos os parâmetros envolvidos no processo de produção dos elementos de MLC sejam conhecidos, conseguindo, assim, melhorar certas propriedades de acordo com o necessário no projeto, aumentando a qualidade do material que está sendo produzido e reduzindo os custos envolvidos na produção.

Este trabalho de pesquisa tem a finalidade de avaliar a resposta da qualidade de colagem de elementos de MLC produzidos com duas diferentes espécies de madeiras de florestas plantadas, com diferentes adesivos estruturais e diferentes níveis de acabamento superficial (rugosidade) das lamelas utilizadas na confecção. Também foi avaliado o comportamento na flexão dos elementos de MLC produzidos.

A qualidade de colagem será avaliada através de ensaios de delaminação e resistência ao cisalhamento das linhas de cola, utilizando como base o método de ensaio ABNT NBR 7190-6 (2022). Os métodos de ensaios apresentados do projeto de norma brasileira foram baseados nos procedimentos da norma europeia EN 14080 (2013) para ambientes internos.

Não foram encontrados na literatura trabalhos que relacionam diferentes níveis de lixamento das lamelas de elementos de MLC produzidos com os referidos cedros, tendo em vista a avaliação da resposta da qualidade de colagem. Portanto, a partir do desenvolvimento do presente trabalho de pesquisa, buscou-se, também, contribuir com a literatura nacional sobre o assunto, que atualmente encontra-se em seu estágio inicial.

6 CONCLUSÃO

O procedimento apresentado no método de ensaio ABNT NBR 7190-6 (2022), baseado na norma europeia EN 14080 (2014), mostrou-se eficiente na avaliação da qualidade de colagem de elementos de MLC. Isso pode ser observado pelo grau de delaminação obtido em função dos limites estabelecidos para o tempo de ensaio.

A caracterização das madeiras utilizadas, realizada com referência à compressão paralela às fibras, indicou para o lote de Cedro australiano a classe de resistência D20, e para o lote de Cedro indiano D30, sendo as densidades (ρ_{ap}) de 0,384 g/cm³ e 0,478 g/cm³, respectivamente. Os valores apresentaram diferença estatisticamente significativas e estão condizentes com os encontrados na literatura para essas espécies.

Os índices de retratibilidade apresentaram diferenças significativas entre as espécies de Cedro australiano e Cedro indiano, porém, os coeficientes de anisotropia, 1,88 e 1,83, respectivamente, indicaram as madeiras possuem a mesma probabilidade de apresentarem trincas e rachaduras devido à variação de umidade.

Para os elementos produzidos com Cedro australiano, a diminuição da rugosidade das superfícies obtidas pelo aumento das gramaturas de lixamento (80, 120 e 220) resultou numa diminuição entre 7 e 13% na resistência ao cisalhamento em relação a amostra sem lixamento para as combinações AP, porém sem diferenças estatísticas. Para as combinações AF, o melhor acabamento resultou em aumentos significativos das resistências ao cisalhamento das linhas de cola, variando entre 1,7% e 15% em relação ao sem lixamento.

Para os elementos produzidos com Cedro indiano, as combinações IP apresentaram aumentos significativos na resistência ao cisalhamento das linhas de cola, com aumentos variando entre 19% e 35%. Porém, para as combinações IF, foi observado uma diminuição da resistência entre 4% e 17% ao realizar o lixamento das lamelas.

Para todas as combinações espécie-adesivo-acabamento estudadas, a predominância de ruptura na região de colagem, observadas nos ensaios de cisalhamento das linhas de cola ocorreram com maior porcentagem na madeira, indicando a boa qualidade de colagem dos produtos confeccionados (MLC). A média das porcentagens de ruptura na madeira variou entre 75,80% e 87,80% para as combinações adesivo-acabamento que utilizaram madeiras de Cedro australiano, e entre 75,50% e 86,40% para as combinações que utilizaram madeiras de Cedro indiano.

Apesar de algumas combinações apresentarem diferenças significativas nos valores de resistência ao cisalhamento das linhas de cola, de forma geral, não ficou claro se as diferentes condições de lixamento influenciaram de forma relevante nos resultados.

A ANOVA considerou como significativa a interação entre os fatores adesivo e acabamento superficial no cisalhamento das linhas de cola dos elementos de MLC produzidos pelas duas espécies de madeira, mas ao analisar os fatores individualmente, apenas o tipo de adesivo também afetou essa propriedade de forma significativa, podendo-se concluir que os diferentes acabamentos realmente não influenciaram nos resultados.

As porcentagens de delaminação total dos elementos de MLC produzidos com as duas espécies de madeira, para todas as combinações de adesivo-acabamento, ficaram abaixo do limite de 6% estabelecido pela NBR 7190-6 (2022) para folhosas.

Para os elementos de MLC produzidos com Cedro australiano e adesivos poliuretano e resorcinol-formaldeído foram observadas baixas porcentagens de delaminação e bem próximas entre si, variando entre 0,22% e 1,93% para as combinações AP, e entre 0,29% e 1,98% para as combinações AF. Para o Cedro indiano, as amostras produzidas com o adesivo resorcinol-formaldeído apresentaram menores porcentagens de delaminação em comparação com o adesivo poliuretano, variando entre 3,29% e 4,15% para as combinações IF, e entre 4,90% e 5,53% para as combinações IP.

Também foi observado que houve relação entre a espessura da linha de cola e a delaminação nos elementos de MLC produzidos com Cedro indiano, para os dois adesivos, mas essa relação não foi observada para os elementos de Cedro australiano.

Em relação ao melhor acabamento das superfícies das lamelas, não é possível afirmar se houve influência na porcentagem de delaminação das linhas de cola, pois os valores obtidos não apresentaram grandes diferenças.

Com os resultados obtidos observou-se que apenas os elementos produzidos com madeiras de Cedro indiano e adesivo poliuretano AG101 apresentaram melhor qualidade de colagem com a diminuição da rugosidade na superfície das lamelas. Nas demais combinações, os lixamentos não melhoraram a qualidade de colagem, ou não apresentaram uma relação direta entre a porcentagem de delaminação e a porcentagem de ruptura na madeira na região adesiva.

A ANOVA não considerou significativa a interação dos fatores adesivo e acabamento superficial para as propriedades de rigidez e resistência à flexão dos elementos de MLC produzidos com ambas as espécies de madeira estudadas.

Ao analisar a influência do acabamento superficial, de forma isolada, observou-se que, apenas os elementos produzidos com Cedro australiano e adesivo resorcinol-formaldeído apresentaram diferenças significativas para os valores de resistência à flexão, mas não foram diferentes para a rigidez. Já as combinações produzidas com adesivo poliuretano não apresentaram diferenças entre seus valores para nenhuma das duas propriedades.

Os melhores resultados foram provenientes do acabamento superficial feito pela plaina desgrossadeira para ambos os adesivos, onde foram obtidos valores de rigidez e resistência à flexão de 7315 MPa e 49,78 MPa para a combinação AP, e de 7955 MPa e 53,43 MPa para a combinação AF, respectivamente. Foram observadas reduções de valores obtidos de 3% a 5% para as combinações AP e de 3% a 9% para as combinações AF ao realizar os lixamentos na superfície das lamelas.

Para os elementos produzidos com Cedro indiano e resorcinol-formaldeído, os valores de rigidez e resistência à flexão apresentaram diferenças significativas entre os diferentes acabamentos, porém com as combinações com adesivo poliuretano isso não ocorreu.

Os melhores resultados também foram com o acabamento feito pela plaina desgrossadeira, nos quais foram obtidos valores de rigidez e resistência à flexão de 7951 MPa e 60,44 MPa para a combinação IP, e de 7959 MPa e 59,18 MPa para a combinação IF. Para os elementos produzidos com Cedro indiano foi observado que o lixamento das lamelas diminuiu a rigidez e resistência à flexão entre 4,5% e 18% nas combinações estudadas.

Ao analisar a influência do tipo de adesivo em cada acabamento, de forma isolada, temos que, os elementos de Cedro australiano com acabamentos realizados pela plaina e lixa 80 apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Para os elementos de Cedro indiano, nenhum acabamento sofreu influência do tipo de adesivo utilizado.

Para ambas as madeiras, o processo de ruptura teve sua origem na região de compressão das vigas (lamela superior), com liberação de tensão que avança para o rompimento das fibras mais tracionadas (lamela inferior).

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Revista Floresta e Ambiente**, Curitiba, PR, v. 7, n. 1, p. 158-166, 2000. Disponível em: <https://floram.org/article/588e21f1e710ab87018b45a9/pdf/floram-7-%C3%BAnico-158.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Colagem varia de acordo com propriedades da madeira. **Revista Madeira**, Lages, SC, n. 88, 2005. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=700&subject=Adesivos&#:~:text=Colagem%20varia%20de%20acordo%20com,dificuldades%20do%20que%20as%20con%C3%ADferas. Acesso em: 20 out. 2022.

ALLEN, W. K. The mechanical theory of adhesion. In: PACKHAM, D. E. **Handbook of adhesion**. 2. ed. Harlow: Longman Scientific and Technical, 2005. chapter 12, p. 275-289.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/3002>. Acesso em: 20 out. 2022.

ALMEIDA, D. H. *et al.* Evaluation of Quality in the Adhesion of Glued Laminated Timber (Glulam) of Paricá and Lyptus Wood Species. **International Journal of Materials Engineering**, Rosemead, CA, v. 4, p. 114-118, 2014. Disponível em: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ijme.20140403.07.html>. Acesso em: 20 out. 2022.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC T110**: cyclic delamination test. Portland: AITC, 2007.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC 115**: standard for fabricated structural timber components and assemblies. Portland: AITC, 2009.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC A190.1**: standard for wood products – structural glued laminated timber. Portland: AITC, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2559**: standard specification for adhesives for structural laminated wood products for use under exterior (wet use) exposure conditions. West Conshohocken: ASTM, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D905**: standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. West Conshohocken: ASTM, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4668**: standard test method for evaluating structural adhesives for finger jointing lumber. West Conshohocken: ASTM, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D198**: standard test methods of static tests of lumber in structural sizes. West Conshohocken: ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3737**: standard practice for establishing allowable properties for structural glued laminated timber (glulam). West Conshohocken: ASTM, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1200**: standard test method for viscosity by ford viscosity cup. West Conshohocken: ASTM, 2018.

ARAUJO, D. R.; MOLINA, J. C. Efeito da umidade da madeira na resistência ao cisalhamento da linha de cola. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, PR, v. 9, p. 79-88, 2017. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11684>. Acesso em: 20 out. 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1**: projeto de estruturas de madeira – parte 1: critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-2**: projeto de estruturas de madeira – parte 2: critérios de classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-3**: projeto de estruturas de madeira – parte 3: métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-4**: projeto de estruturas de madeira – parte 4: métodos de ensaio para madeira lamelada colada estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-5**: projeto de estruturas de madeira – parte 5: métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-6**: projeto de estruturas de madeira – parte 6: métodos de ensaio para madeira lamelada colada estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-7: estruturas de madeira – parte 7: métodos de ensaio para madeira lamelada colada cruzada estrutural**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AZAMBUJA, M. A. **Avaliação do adesivo poliuretano a base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.88.2017.tde-11072017-151910>. Acesso em: 24 jan. 2022.

AZAMBUJA, M.A. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira lamelada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.88.2006.tde-22112010-145050>. Acesso em: 24 jan. 2022.

AZAMBUJA, M. A.; DIAS, A. A. Avaliação do adesivo poliuretano à base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC). **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, SP, v. 3, n. 8, 2002. Disponível em: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/416>. Acesso em: 24 jan. 2022.

AZEVEDO, E. C. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/21519/TESE%20EA%20.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2022.

BARROS, L. S. **Comparação da rigidez de elementos de MLC a partir de ensaios de flexão estática e técnica de excitação por Impulso**. 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Instituto de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2019.

BATISTA, A. *et al.* Tensile strength evaluation on structural timber finger joints, **Maderas Ciencia y Tecnologia**, Concepcion, Región del Bío-Bío, v. 4, n. 2, p. 168-178, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/297371556_Tensile_strength_evaluati_on_on_structural_timber_finger_joints. Acesso em: 24 jan. 2022.

BERTOLINI, M. S. *et al.* Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated Pinus sp. and castor oil resin. **Materials Research**, São Carlos, SP, v. 16, p. 293-303, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000003>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BERTOLINI, M. S. *et al.* Painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus* sp. tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 339–346, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200014>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BIANCHI, N. A. **Avaliação da delaminação e da resistência da linha de cola de elementos de MLC com base no projeto de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013 considerando madeiras de reflorestamento tratadas com CCA e sem tratamento preservativo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/402c7120-1d1e-4f6b-a665-e0be2afc2787/content>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BLOMQUIST, R. F. *et al.* **Adhesive bonding of wood and other structural materials - Volume III**, 1. ed. Madison: Clark C. Heritage Memorial Series on Wood, 1983.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. 1. ed. New York: Krieger Pub Co, 1993.

BUDYNAS, R. G.; NISBTT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2016.

BURATTA, C. C. **Adesão de peças de madeira de reflorestamento coladas com adesivo estrutural**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/5073/2/2019%20-%20Caterina%20Carvalho%20Buratta.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2020.

BURDURLU, E. *et al.* The effect on shear strength of different surfacing techniques in Oriental beech (*Fagus orientalis* Lysky) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) bonded joints. **Journal Adhesion Science Technology**, London, v. 21, n. 3/4, p. 319-330, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/156856107780684611>. Acesso em: 26 fev. 2020.

BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. **Growing Australian red cedar**. 1. ed. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation, 2005.

CALIL JUNIOR, C. *et al.* **Estruturas de Madeira: Projetos, dimensionamento e exemplos de cálculo**. 1. ed. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2019.

CALIL MADEIRAS. **Aplicações: Residenciais, pergolados, abrigos externos, espaços urbanos, pontes e passarelas, templos religiosos, adegas e destilarias**. São Carlos: Calil Madeiras, [2022] Disponível em: [http://madeiralaminadacolada.com/aplicacoes.php#!prettyPhoto\[gallery\]](http://madeiralaminadacolada.com/aplicacoes.php#!prettyPhoto[gallery]). Acesso em: 02 fev. 2022.

CALIL NETO, C. *et al.* Analysis of specie-treatment-adhesive combinations for Glulam purpose. **International Journal of Materials Engineering**, Rosemead, CA, v. 4, n. 1, p. 41-47, 2014a. Disponível em: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ijme.20140401.06.html>. Acesso em: 28 mai. 2020.

CALIL NETO, C. *et al.* Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 24, n. 4, p. 989-996, 2014b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-509820142404018>. Acesso em: 28 mai. 2020.

CALIL NETO, C. *et al.* Specie - treatment - adhesive combinations for glulam purpose. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, RS, v. 3, p. 16-23, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n2p16-23>. Acesso em: 28 mai. 2020.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA 112.9**: evaluation of adhesives for structural wood products (exterior exposure). Mississauga: CSA, 2004.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA 177**: qualification code for manufactures of structural glued-laminated timber. Mississauga: CSA, 2006.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA 112.10**: evaluation of adhesives for structural wood products (limited moisture exposure). Mississauga: CSA, 2007.

CANGEMI, J. M. **Biodegradação de poliuretano derivado do óleo de mamona**. 2006. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.75.2006.tde-26042007-091940>. Acesso em: 19 mai. 2022.

CANGEMI, J. M. *et al.* Biodegradation of Polyurethane Derived from Castor Oil. **Polímeros**, São Carlos, SP, v. 18, p. 201-206, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000300004>. Acesso em: 19 mai. 2022.

CARNEIRO, R. P. **Colagem de junta de madeira com adesivo epóxi**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/5086>. Acesso em: 19 mai. 2022.

CARVALHO, P. E. R. Espécies introduzidas alternativas às do gênero Pinus e Eucalyptus para reflorestamento no Centro-Sul do Brasil. In: GALVÃO, A. P. M. **Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 1998. p. 75-99.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras – Volume 1**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1044 p.

CASTRO, E. M. **Estudo da usinabilidade de chapas de MDF para usinagem de desbaste e acabamento**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.88.2016.tde-16092016-110705>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CAVALHEIRO, R. S. **Aplicação de diferentes técnicas de microscopia para análises da região adesiva em madeira lamelada colada (MLC)**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2018.tde-26092018-102603>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CEPELKA, M.; MALO, K. A. Moment resisting splice of timber beams using long threaded rods and grout-filled couplers – Experimental results and predictive models. **Construction and Building Materials**, London, v. 155, p. 560-570, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11250/2462723>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CHAHUD, E.; LAHR, F. A. R.; PERES, R. R. R. O uso de espécies nativas comercializadas em belo horizonte na composição de madeira laminada colada. **Construindo**, Belo Horizonte, MG, v. 1, n. 2, p. 46-49, 2009. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/1739>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CHAHUD, E. *et al.* Shear strength of joints in glued laminated timber: Normative verification of bibliography results. **International Journal of Materials Engineering**, Rosemead, CA, v. 8, n. 6, p. 152-157, 2018. Disponível em: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ijme.20180806.03.html>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CRUZ, H.; CUSTÓDIO, J. Adhesives for on-site rehabilitation of timber structures. **Journal Of Adhesion Science and Technology**, London, v. 24, n. 8-10, p. 1473-1499, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/016942410X501089>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CUNHA, A. B.; MATOS, J. L. M. Avaliação da rigidez de vigas estruturais de madeira laminada colada unidas por adesivo poliuretano. **Cerne**, Lavras, MG, v. 17, n. 4, p. 593-600, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000400019>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CUSTÓDIO, J.; BROUGHTONB, J.; CRUZ, H. A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, London, v. 29, p. 173-185, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2008.03.002>. Acesso em: 27 jun. 2021.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, SP, v. 3, n. 8, 2002. Disponível em: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/407>. Acesso em: 27 jun. 2021.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira**. 2005. Dissertação (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-31082009-105836/>. Acesso em: 17 set. 2022.

DRESSLER, V. L. **Investigação de métodos e procedimentos para determinação de tanino e cromo em efluente de curtume**. 1994. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1994.

DUNKY, M. Adhesives in the Wood Industry. *In*: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesives Technology**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. chapter 20, p. 511-574.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 386**: glued laminated timber: performance requirements and minimum production requirements. Brussels: EN, 2001.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 789**: timber structures: test methods - determination of mechanical properties of wood-based panels. Brussels: EN, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 408**: timber structures: structural timber and glued laminated timber - determination of some physical and mechanical properties. Brussels: EN, 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 14080**: timber structures: glued laminated timber and glued solid timber - requirements. Brussels: EN, 2013.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 16351**: timber structures: cross laminated timber - requirements. Brussels: EN, 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 301**: adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures - classification and performance requirements. Brussels: EN, 2018.

FARIA, D. L. *et al.* Number of laminae on the mechanical behavior of glued laminated timber (glulam) of *Toona ciliata* produced with vegetable polyurethane adhesive. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943014819>. Acesso em: 28 set. 2022.

FERDOSIAN, F. *et al.* Bio-Based Adhesives and Evaluation for Wood Composite Application. **Polymer**, Texas, v. 9, p. 70, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym9020070>. Acesso em: 28 set. 2022.

FIORELLI, J.; DIAS, A. A.; AZAMBUJA, M. A. Proposta de normalização para madeira laminada colada (MLC). **Revista Madeira**, São Carlos, SP, v. 13, p. 01-10, 2004. Disponível em: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/278>. Acesso em: 01 jan. 2020.

FIORELLI, J. **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.88.2005.tde-19072005-110613>. Acesso em: 01 jan. 2020.

FIORELLI, J.; DIAS, A. A. Glulam beams reinforced with FRP externally bonded: theoretical and experimental evaluation. **Materials and Structures**, Switzerland, v. 44, p. 1431-1440, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-011-9708-y>. Acesso em: 01 jan. 2020.

FIRMINO, A. C.; MORAES, W. B.; FURTADO, E. L. Primeiro relato de *Ceratocystis fimbriata* causando seca em *Acrocarpus fraxinifolius* no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, SP, v. 41, n. 2, p. 160-160, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1954>. Acesso em: 01 jan. 2020.

FRIHART, C. R. Adhesive interaction with wood. In: ROWELL, R. M. **Fundamentals of composite processing**. 1. ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, 2004. p. 29-38.

FRIHART, C. R. Wood adhesion and adhesives. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 1. ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, 2005. p. 215-278.

FRIHART, C. R., HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials - Bond Formation and Performance. In: **Wood Handbook - Wood as an Engineering Material**, Madison: U.S. Department of Agriculture, 2010. chapter 10, p. 101-124.

FRIHART, C. R. Wood adhesives: Vital for producing most wood products. **Forest Products Journal**, LaGrange, GA, v. 61, p. 4-12, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.1.4>. Acesso em: 22 fev. 2022.

FOR NATURE WOODS. **Construção, carpintaria e marcenaria**. Sorocaba: For Nature Woods Marcenaria [2022]. Disponível em: <https://www.fornaturemarcenariaearte.com/vigas-de-eucalipto/prod-8897310/>. Acesso em: 24 jun. 2022.

GARBE, E. A. *et al.* Analysis of deflated prices and its trend of Glulam and its main raw materials by the quantitative time series method. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, SP, v. 31, n. 2, p. 131-145, 2019. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/inflorestal/sites/234/2020/05/revista-if-31-2_completa.pdf. Acesso em: 24 fev. 2022.

GARCIA, C. H.; MORA, A. L. **A cultura de Eucalipto no Brasil**. 1. ed. São Paulo: SBS, 2000. 112 p. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3519>. Acesso em: 24 jun. 2020.

GIBBS, N. **Guia essencial da madeira**: um manual ilustrado de 100 madeiras decorativas e suas aplicações. 1. ed. Lisboa: LISMA, 2005. 254 p.

GRANDMONT, J. F. *et al.* **Canadian CLT Handbook**. 1. ed. Pointe-Claire: FPInnovations, 2019. 812 p.

GOMES, N. B. **Análise de elementos estruturais de MLC na flexão com base na versão de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/153503>. Acesso em: 24 jun. 2020.

HONORATO, S. J. A. *et al.* Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) una opción agroflorestal para la sierra Norte del estado de Puebla. **Folheto Técnico**. Ciudad de México: INIFAP, v. 1, p. 41, 2005.

HSE, C.; KUO, M. Influence of extractives on wood gluing and finishing – a review. **Forest Products Journal**, LaGrange, GA, v. 38, p. 52-56, 1988. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/8068>. Acesso em: 24 jun. 2020.

ICIMOTO, F. H. **Dormentes em Madeira Laminada Colada de *Pinus oocarpa***. 2013. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2013.tde-23012014-110222>. Acesso em: 24 jun. 2020.

ICIMOTO, F. H. *et al.* Influence of lamellar thickness on strength and stiffness of glued laminated timber beams of *Pinus oocarpa*. **International Journal of Materials Engineering**, Rosemead, CA, v. 6, n. 2, p. 51-55, 2016. Disponível em: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ijme.20160602.05.html>. Acesso em: 24 jun. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ 2022**. Brasília: FGV Ibre, 2022. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Informações sobre madeiras**. São Paulo. 1989. Disponível em: https://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca. Acesso em: 02 jan. 2021.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 6891**: timber structures – joints made with mechanical fasteners – general principles for the determination of strength and deformation characteristics. Switzerland: ISO, 1983.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 4287**: rugosidade: método do perfil - termos, definições e parâmetros da rugosidade. Genebra: ISO, 2002.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 13910**: timber structures – strength graded timber – test methods for structural properties. Genebra: ISO, 2014.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. 1. ed. Curitiba: FUPEF, 2005.

JANKOWSKY, I. P. **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira**. 1979. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

JENNINGS, J. D. **Investigating the surface energy and bond performance of compression densified wood**. 2003. Dissertation (Master in Wood Science) – Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State, Blacksburg, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10919/10150>. Acesso em: 23 jul. 2022.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.88.2016.tde-16092016-161024>. Acesso em: 23 jul. 2022.

KEHL. **Aglomerantes**. São Carlos: Kehl Ind e Com Ltda, 2011. 5 p. Disponível em: https://www.kehl.ind.br/catalogos/KEHL_--_Aglomerante_1.pdf. Acesso em: 08 nov. 2021.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Environment**, London, v. 41, n. 8, p. 1074-1078, 2006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132305001691>. Acesso em: 10 nov. 2021.

KNORZ, M. *et al.* Influence of surface preparation methods on moisture-related performance of structural handwood-adhesive bonds. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, London, v. 57, p. 40-48, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.10.003>. Acesso em: 10 nov. 2021.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas. 1. ed. Eschborn: GTZ, 1990. 338 p.

LAVABRE, M. **Aromaterapia**: a cura pelos óleos essenciais. 5 ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Era, 2001. 370 p.

LINTZ, R. C. C. *et al.* Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture. **Ibracon Structures and Materials Journal**, São Paulo, SP, v. 5, n. 2, p. 166-181, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/dQWNJzXhYBZQJpMjnzCP3Yq>. Acesso em: 10 nov. 2021.

LÓPEZ-SUEVOS F.; RICHTER, K. Hydroxymethylated resorcinol (HMR) and novolak-based HMR (n-HMR) primers to enhance bond durability of Eucalyptus globulus glulams. **Journal of Adhesion Science and Technology**, London, v. 23, p. 1925-1937, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/016942409X12508517390914>. Acesso em: 10 nov. 2021.

LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

LUZ, A. B. *et al.* Application of collated laminated wood (MLC) as beams of bridges: an analysis under the view of the NBR 7190/1997 review project. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, PR, v. 6, n. 8, p. 59283-59306, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/15170/12520>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MAGHEMBE, J. A.; PRINS, H. Performance of multipurpose trees for agroforestry two years after planting at Makoka, Malawi. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 64, n. 2/3, p. 171-182, 1994. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90291-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90291-7). Acesso em: 10 nov. 2021.

MARRA, A. A., **Technology of wood bonding: principles in practice**. 1. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.

MARTÍNEZ, P. E. *et al.* Cultivo intercalado de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) y su efecto sobre el contenido de materia orgánica en el suelo. **Revista Científica UDO Agrícola**, Cumaná, v. 6, n. 1, p. 109- 113, 2006. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2252810>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MASCIA, N. T. Analysis of stresses and displacements in cylindrical wood parts due to shrinkage. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, RJ, v. 20. n. 1, p. 1-14, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190169>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MELOTTO, M. A. **Estudo do tempo de adesão, da temperatura e da pressão de colagem na tensão limite de cisalhamento de uniões de madeira de *Eucalyptus grandis* coladas com adesivo sem solvente**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2007.tde-14052007-164357>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MIOTTO, J. L. **Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2009.tde-15062009-094616>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MISHRA, G. *et al.* Global Scenario of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.: a future tree of agro forestry. **International Letters of Natural Sciences**, Switzerland, v. 3, p. 25-29, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.56431/p-8tqvyyh>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MOLINA, J. C. **Análise do comportamento dinâmico da ligação formada por barras de aço coladas para tabuleiros mistos de madeira e concreto para pontes**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2008.tde-04082008-111830>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MOMENTIVE. **Boletim técnico Cascophen RS-216-M**. Cotia, 2011.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; ALVES, R. C. Influência do teor de umidade nas propriedades de adesão da madeira de Eucalipto. **Construindo**, Belo Horizonte, MG, v. 4, n. 2, p. 96-103, 2012. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/1688>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MURAKAMI, C. H. G. Cedro Australiano: valorização de espécies nobres. **Boletim Florestal**, São Paulo, SP, v. 7, n. 2, p. 1-6, 2008.

NASCIMENTO, A. M. *et al.* Comportamento de ligações adesivas em madeira de reflorestamento. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, RJ, v. 9, n. 1, p. 54-62, 2002. Disponível em: <https://floram.org/article/588e21fde710ab87018b45db>. Acesso em: 10 nov. 2021.

NASCIMENTO, M. F. *et al.* Painéis OSB fabricados com madeiras da caatinga do nordeste do Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v. 15, n. 1, p. 41-48, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212015000100005>. Acesso em: 10 nov. 2021.

NASSUR, O. A. C. *et al.* Variações na qualidade de toras de *Toona ciliata* M. Roem com dezoito anos de idade. **Cerne**, Lavras, MG, v. 19, n. 1, p. 43-49, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000100006>. Acesso em: 10 nov. 2021.

NIE, X. **Failure mechanism of rolling shear failure in cross-laminated timber**. 2015. Dissertation (Master of Forestal Science) – The Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies, University of British Columbia, Vancouver, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.14288/1.0215881>. Acesso em: 10 nov. 2021.

NISGOSKI, S. *et al.* Anatomia da madeira de *Toona ciliata* características das fibras para produção de papel. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 4, p. 717-728, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i4.25337>. Acesso em: 05 mai. 2020.

NOGUEIRA, R. S. **Proposta de um método de ensaio para controle de qualidade na produção de elementos estruturais de MLC e de LVL**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2017.tde-22062017-102209>. Acesso em: 05 mai. 2020.

OHNESORGE, D; RICHTER, K.; BECKER, G. Influence of wood properties and bonding parameters on bonder durability of European Beech (*Fagus sylvatica* - L). **Annals of Forest Science**, London, v. 67, n. 6-8, 2010. Disponível em: <https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1051/forest/2010002>. Acesso em: 05 mai. 2020.

OLIVEIRA, R. G. E. *et al.* Analysis of glue line and correlations between density and anatomical characteristics of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* glulam. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, Concepcion, Región del Bío-Bío, v. 22, n. 4, p. 495-504, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000408>. Acesso em: 05 mai. 2021.

OLIVEIRA, K. A.; OLIVEIRA, C. A. B.; MOLINA, J. C. Physical, chemical and mechanical characterization of *Acrocarpus fraxinifolius* cultivated in Sao Paulo. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, Concepcion, Región del Bío-Bío, v. 24, n. 9, p. 1-8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2022000100409>. Acesso em: 10 set. 2022.

PACKHAM, D. E. Roughness, and adhesion. In: PACKHAM, D. E. **Handbook of adhesion**. 2. ed. Harlow: Longman Scientific and Technical, 2005. chapter 7, p. 215-219.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**: structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. 1. ed. New York: McCraw-Hill, 1980. 736 p.

PARIS, J. L.; KAMKE, F. A. Quantitative Wood-adhesive penetration with Xray computed tomography. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, London, v. 61, p. 61- 80, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.05.006>. Acesso em: 10 set. 2022.

PASCHOA, D. P. **Avaliação da qualidade de colagem de elementos de MLC confeccionados com madeiras de eucalipto e resina fenólica**. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Instituto de Ciência e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/203726>. Acesso em: 10 set. 2021.

PEREYRA, O. *et al.* Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento em procesos industriales de la madera de Kiri, Gravillea, Paraíso y Toona. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 213-223, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v36i2.6457>. Acesso em: 10 set. 2021.

PETRIE, E. M. **Handbook of adhesives and sealants**. 1. ed. Toronto: McGraw-Hill Professional, 2000. 896 p.

PINHEIRO, A. L.; RAMALHO, R. S.; BARREIROS, H. S. Árvores exóticas em Viçosa: II *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F.v.M.) C.DC. (*Meliaceae*). **Ceres**, Viçosa, MG, v. 41, n. 234, p. 103-112, 1994. Disponível em: <https://ojs.ceres.ufv.br/index.php/ceres/article/view/2062/109>. Acesso em: 10 set. 2021.

PINHEIRO, A. L.; LANI, J. L.; COUTO, L. **Cedro australiano: cultivo e utilização** (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell) Bahadur). 1. ed. Viçosa: UFV, 2003. 42 p.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. 1. ed. New York: CRC Press, 1994. 304 p.

PLASTER, O. *et al.* Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras, MG, v. 14, n. 3, p. 251-258, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/14026>. Acesso em: 13 out. 2020.

PRADO, C. A. *et al.* Características físicas e químicas da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Colombo: Embrapa Florestas, v. 14, 2003.

PROPERZI, M.; PIZZI, A.; UZIELLI, L. Comparative wet wood glueing performance of different types of Glulam wood adhesives. **Holz als Roh und Werkstoff**, v. 61, p. 77-78, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00107-002-0347-4>. Acesso em: 13 out. 2020.

RAKNES, E. Durability of structural wood adhesives after 30 years ageing. **European Journal of Wood and Wood Products**, London, v. 55, n. 2-4, p. 83-90, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02990523>. Acesso em: 13 out. 2020.

REIS, A. H. S. *et al.* Physical-mechanical properties of plywood produced with *Acrocarpus fraxinifolius* and *Pinus oocarpa*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, RJ, v. 26, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.015717>. Acesso em: 13 out. 2020.

ROCCO LAHR, F. A. *et al.* influence of storage period of pieces in stiffness of *Pinus elliottii* glulam beams. **Advanced Materials Research (Online)**, Abingdon, OX, v. 1025-1026, p. 64-67, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1025-1026.64>. Acesso em: 13 out. 2020.

ROCCO LAHR, F. A. *et al.* Evaluation of the Moisture Content in Stiffness Properties of Structural Glulam Beams. **Advanced Materials Research (Online)**, Abingdon, OX, v. 1088, p. 676-679, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1088.676>. Acesso em: 14 nov. 2021.

ROSA, T. O. *et al.* Classificação visual e mecânica da espécie *Cryptomeria japonica* D. Don para utilização em madeira laminada colada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 30, n. 2, p. 451-462, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509837084>. Acesso em: 14 nov. 2021.

SANTOS, L. D. T. *et al.* Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000100016>. Acesso em: 14 nov. 2021.

SANTOS, F. F. *et al.* Adequação dos municípios do estado do Rio Grande do Sul à legislação de gestão de resíduos da construção civil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, v. 4, p. 1-18, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314833272_Adequacao_dos_Municipios_do_Estado_do_Rio_Grande_do_Sul_a_Legislacao_de_Gestao_de_Residuos_da_Construcao_Civil. Acesso em: 14 nov. 2020.

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. Theories and Mechanisms of Adhesion. In: PIZZI A.; MITTAL, K. L **Handbook of Adhesive Technology**: revised and expanded. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 61-75.

SEGUNDINHO, P. G. A. *et al.* Avaliação de vigas de madeira laminada colada de Cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.). **Cerne**, Lavras, MG, v. 19, n. 3, p. 441-449, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000300011>. Acesso em: 14 nov. 2020.

SEGUNDINHO, P. G. A. *et al.* Resistência de linhas de cola para madeiras de reflorestamento. **Semina. Ciências Exatas e Tecnológicas (Online)**, Londrina, PR, v. 36, p. 107-116, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2015v36n1p107>. Acesso em: 14 nov. 2020.

SEGUNDINHO, P. G. A. *et al.* Madeira lamelada colada (MLC) com *Acacia mangium* e adesivos estruturais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 43, n. 107, p. 533-540, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/16345>. Acesso em: 14 nov. 2020.

SEGUNDINHO, P. G. A. *et al.* Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC). **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, RJ, v. 22, n. 2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170002.0140>. Acesso em: 14 nov. 2020.

SERRANO, L. J. P. **Resistência e elasticidade da madeira e de juntas coladas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e seus impactos na mecânica de vigas laminadas coladas.** 2013.

Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2013.tde-23082013-160759>. Acesso em: 14 nov. 2020.

SHUPE, T. F.; HSE, C. Y.; WANG, W. H. An investigation of selected factors that influence hardwood wettability. **Holzforschung – International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood**, Berlin, v. 55, n. 5-6, p. 541-548, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/HF.2001.087>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SILVA, M. R. *et al.* Permeability measurements of Brazilian *Eucalyptus*. **Materials Research**, São Paulo, SP, v. 13, n. 3-4, p. 281-286, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000300002>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SILVA, S. A. M.; AZAMBUJA, M. A.; SEGANTINI, A. A. S. Avaliação da densidade aparente de chapas de madeira aglomerada confeccionadas com partículas de madeira tropical e poliuretano derivado de óleo de mamona. In: LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013. p. 91-110.

SILVEIRA, R. L. V. A. Evaluation of the nutritional status of Eucalypts: visual and foliar diagnosis and their interpretation. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 85-111.

SIMPSON, W. T. **Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: tropical and temperate hardwoods**. Madison: U. S. Department of Agriculture, 1996. 59 p.

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. 1. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 779 p.

SOAREZ, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE A. B. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 689-694, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500011>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SOUZA, C. R. *et al.* Behaviour of *Acacia mangium* and clones of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* in experimental plantations in Central Amazônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 65, p. 95-101, 2004. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap09.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

STROBECH, C. Polyurethane adhesives. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, London, n. 3, v. 10, p. 225-228, 1990.

SUIREZS, T. *et al.* Natural durability and apparent specific weights of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn (Pink Cedar) cultivated in the Province of Misiones, Argentina., **Procedia**

Materials Science, London, v. 8, p. 802-806, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.138>. Acesso em: 10 abr. 2020.

TELLO, J. **Physic-mechanical characterization of *Acrocarpus fraxinifolius* wood**. 2009. Thesis (PhD) – College of Wood Technology Engineer, University Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Mexico, 2009.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Analysis of glued laminated beams performance of Parica species (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 38, n. 87, p. 471-480, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/297486339_Analysis_of_glued_laminated_beams_performance_of_parica_species_Schizolobium_Amazonicum_Huber_ex_Ducke. Acesso em: 10 abr. 2020.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/24136>. Acesso em: 10 abr. 2020.

TRIANOSKI, R. *et al.* Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus* spp. para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 39, n. 91, p. 343 350, 2011. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/16381>. Acesso em: 10 abr. 2020.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de Cedro australiano cultivado em Corupá, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v. 34, n. 80, p. 435-441, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.523>. Acesso em: 06 mai. 2021.

TURESSON, J. *et al.* Shear modulus analysis of cross-laminated timber using picture frame tests and finite element simulations. **Materials And Structures**, London, v. 53, n. 4, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-020-01545-1>. Acesso em: 06 mai. 2021.

VALVERDE, S. Plantações de Eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira**, São Carlos, SP, v. 1, n. 107, 2007. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1132&subject=Eucalipto&title=Planta. Acesso em: 06 mai. 2021.

VENTURIN, N.; CARLOS, L.; MACEDO, R. L. G. Desempenho silvicultural de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight em função de diferentes espaçamentos e idades. **Cerne**, Lavras, MG, v. 20, n. 4, p. 629-636, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104776020142004668>. Acesso em: 06 mai. 2021.

VICK, C. B. **Wood handbook: wood as an engineering material**. 1. ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999. Disponível em: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf. Acesso em: 06 mai. 2021.

VILELA, R. **Desempenho estrutural de placas de cross laminated timber submetidas à flexão**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2020.1127189>. Acesso em: 06 mai. 2021.

VILGUTS, A.; SERDJUKS, D.; PAKRASTINS, L. Design methods of elements from cross-laminated timber subjected to flexure. **Procedia Engineering**, Netherlands, v. 117, p. 10–19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.117>. Acesso em: 10 abr. 2021.

WANG, H. *et al.* Walnut Meal as Formaldehyde-free Adhesive for Plywood Panels. **Bioresources**, Raleigh, NC, v. 13, n. 2, p. 4301-4309, 2018. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/walnut-meal-as-formaldehyde-free-adhesive-for-plywood-panels/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

WREGE, M. S. *et al.* Pinus tropical com potencial para uso em plantios comerciais no Brasil. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, SP, v. 26, n. 2, p. 137-145, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/rif.2014.010>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2003.tde-26052006-150001>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ZANGIÁCOMO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, SP, v. 9, n. 40, p. 103-131, 2007. Disponível em: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/396>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ZENID, G. J. *et al.* Madeira: uso sustentável na construção civil. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, São Paulo, SP, 2009. Disponível em: http://aleph.ipt.br/exlibris/aleph/a22_1/apache_media/EEDNCG3N9H98CFVF4C96C1MGVPVJBA.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

ZIECH, R. Q. S. **Cracterísticas tecnológicas da madeira de Cedro australiano (*toona ciliata* m. Roem)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/4226>. Acesso em: 20 jun. 2022.