



PAULO HENRIQUE LOBO NEVES

**APLICAÇÃO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS EM ELEMENTOS DE
MADEIRA LAMELADA COLADA (MLC)**

PAULO HENRIQUE LOBO NEVES

**APLICAÇÃO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS EM ELEMENTOS
DE MADEIRA LAMELADA COLADA (MLC)**

Tese submetida à banca examinadora aprovada pelo colegiado do Programa de pós-graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção de grau de Doutor em engenharia Civil na área de materiais.

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo

Có-orientado pelo Prof. Dr. Victor Hugo Pereira. Moutinho

BELÉM – PARÁ – BRASIL
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor

L799a Lobo Neves, Paulo Henrique.

APLICAÇÃO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS EM ELEMENTOS DE MADEIRA LAMELADA COLADA (MLC).

Paulo Henrique Lobo Neves.

2023. 80 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macedo

Co orientador: Prof. Dr. Victor Hugo Pereira Moutinho

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2023.

1. Espécies amazônicas. 2. MLC. 3. Adesivos. 4. Linha de cola. .

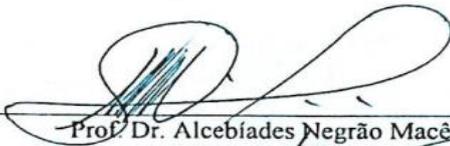
PAULO HENRIQUE LOBO NEVES

**APLICAÇÃO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS EM ELEMENTOS DE MADEIRA
LAMELADA COLADA (MLC)**

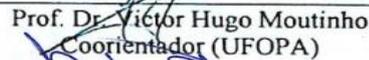
Tese submetida à banca examinadora aprovada pelo colegiado do Programa de pós-graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção de grau de Doutor em engenharia Civil na área de materiais.

APROVADO EM: 16 / 03 / 2023.

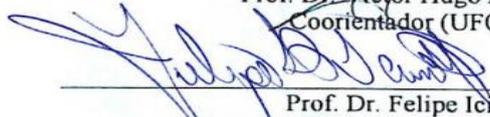
BANCA EXAMINADORA:



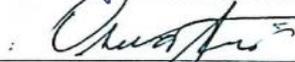
Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macêdo
Orientador (UFPA)



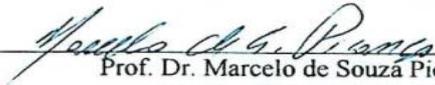
Prof. Dr. Victor Hugo Moutinho
Coorientador (UFOPA)



Prof. Dr. Felipe Iermoto
Membro Externo (AMATA-URBEM)



Prof. Dr. Osmar José Romeiro de Aguiar
Membro Externo (EMBRAPA)



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Membro Interno (UFPA)

Visto:



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Paulo Henrique Lobo Neves.

APLICAÇÃO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS EM ELEMENTOS DE MADEIRA LAMELADA COLADA (MLC).

GRAU: Doutor ANO: 2023

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.



PAULO HENRIQUE LOBO NEVES

Trav. Riachuelo n. 32, Salé

68040-730, Santarém, PA – Brasil.

Esta tese é dedicada aos meus pais, às minhas filhas e à Minha esposa , pela minha ausência, devido os longos dias de estudos dedicados a esta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À DEUS e a Nossa Senhora de Nazaré que me deu inspiração e força para realização deste trabalho.

Ao meu orientador e amigo professor doutor Alcebiades Negrão Macedo pela orientação e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu có-orientador e amigo doutor Victor Hugo Moutinho pelas orientações e fantásticas contribuições científicas à tese e ao professor Doutor Fernando W. Carvalho de Andrade pela colaboração na revisão do texto e pelas valiosíssimas contribuições.

À UFOPA – Universidade Federal do Oeste do Pará, pela cessão do seu excelente laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM.

À empresa Algime Florestal na pessoa do senhor Altemir, Fabricantes de Adesivos: Jowatt Klebestoff – JOWAPUR 687.22, Franklin Adesives & Polymers – Multibond X080/EP950A, Imperveg – PU – Mamona AGT1315.

Aos alunos estagiários, mestrandos e doutorandos do LTM, Msc. Raphael, Saulo José, Felipe, Juliane Sampaio, Jéssica, Leticia e ao técnico em laboratório o “Senhor” da EMIC – Solano, pela imensurável ajuda e à minha querida Amiga Wayka Prestes pela ajuda na identificação das espécies.

Ao meu parceiro de produção de protótipos o professor doutorando Thiago Moreira, pela excepcional ajuda na confecção da prensa de MLC e da autoclave.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal do Pará pela oportunidade de realização do doutorado.

Aos Estagiários, João Victor Cunha, João Vitor, Aline Beatriz e Lucas Nobre, do Curso de Engenharia Civil do IFPA- Instituto Federal de educação Ciência e Tecnologia do Pará, campus Santarém e laboratoristas do LED-Laboratório de Engenharia e Edificações, pelo empenho e colaboração.

Aos meus colegas professores do Curso de Engenharia Civil do IFPA Augusto vieira, João Melo, Lana Daniele, Lucimara por segurar a “barra” num momento difícil de pandemias nos anos de 2020 e 2021, e ao laboratorista Saulo Almada pelo apoio nos ensaios no L.ED.

À minha esposa Silvia Soares pelo apoio emocional ao longo desse período, meus Enteados Gabriela e João Pedro Jennings pela companhia em períodos de

isolamento, minhas amadas filhas Marluce, Ana Beatriz e Mariana Lobo pela compreensão na ausência do pai.

Aos meus irmãos pelo apoio e torcida, à minha cunhada Doutora Maria da Conceição pelos conselhos acadêmicos e boas conversas.

Aos meus Amigos da ANB – Associação Náutica de Belém em especial ao grande amigo Ronaldo “Pipo” que se foi repentinamente e não esperou para tomar a “gelada” da comemoração, aos amigos da flotilha BL-8 pela acolhida e integração na alcateia da vela, propiciando o equilíbrio mental para suportar os desafios do dever científico.

Aos meus pais Everton e Alvalinda Neves pela dedicação e empenho em me proporcionar, sem medir esforços, acesso à educação de qualidade e pelos mimos enviados para atenuar a saudade.

E a todos que, de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

NEVES, P.H.L. **Aplicação de madeiras amazônicas em elementos de madeira lamelada colada (MLC)**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém, 2023.

A madeira já é tida em cenário mundial como o principal material construtivo do século XXI, no entanto, para que esta potencialidade seja viabilizada, tecnologias para desdobro e uso da matéria prima, a exemplo da Madeira Lamelada Colada - MLC, necessita ser difundida e utilizada em uma maior gama de espécies. Nisto, frisa-se que, apesar da grande diversidade existente, poucos estudos são encontrados para verificar o potencial de uso de madeiras amazônicas em MLC. Desta forma, o trabalho possui como objetivo analisar a colagem de dez espécies nativas da Amazônia, a citar: *Jacaranda* sp., *Simarouba amara* Aubl., *Astronomium lecointei*, *Couratari* sp., *Cedrela fissilis*, *Cordia Goeldiana* Huber, *Hymenaea courbaril*, *Dipteryx odorata*, *Euxylophora paraensis*, *Mezilaurus itauba*, e combinação com quatro tipos de adesivos distintos, sendo dois estruturais resistentes à umidade e dois não estruturais, tendo como testemunha amostra de cisalhamento da madeira maciça, com o mínimo de 20 repetições por tratamento. Foram realizados ensaios complementares como delaminação e flexão estática. Verificou-se que para algumas espécies houve adesivo com resistência estatisticamente igual e superior em algumas combinações em comparação com a amostra testemunha, demonstrando que as espécies estudadas possuem potencial para produção de MLC, assim como para demais produtos que utilizem adesivos.

Palavras-Chave: Madeiras amazônicas. MLC. Adesivos. Linha de cola.

ABSTRACT

NEVES, P.H.L. **Application of Amazonian timber in glued laminated timber elements (glulam)**. Doctoral thesis. Graduate Program in Civil Engineering. Federal University of Pará. Belém, 2023.

Timber is considered on the world stage as the primary building material of the 21st century. However, for this potential to be actualized, technologies for unfolding and using the raw material, such as Glued Laminated Timber (glulam), need to be disseminated and used in a wider range of species. In this regard, we emphasize that, despite the great existing diversity, only some studies are found to verify the potential use of Amazonian timber in glulam. This way, this paper aims to analyze the gluing of ten species native to the Amazon, namely: *Jacaranda sp.*, *Simarouba amara Aubl.*, *Astronomium lecointei*, *Couratari sp.*, *Cedrela fissilis.*, *Cordia Goeldiana Huber*, *Hymenaea courbaril.*, *Dipteryx odorata.* *Euxylophora paraensis.*, *Mezilaurus itauba.*, and the combination with four different types of adhesives, two structural resistant to moisture and two non-structural, using a shear sample of solid timber as a evidence, with a minimum of 20 repetitions per treatment. Complementary tests such as delamination and static bending were carried out. We verified that for some species there was an adhesive with statistically equal and superior resistance in some combinations compared to the control sample, demonstrating that the studied species have the potential for the production of glulam, as well as for other products that use adhesives.

Keywords: Amazonian timber. glulam. Adhesives. Glue line.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema geral de uma peça de MLC.....	19
Figura 2	Estrutura em MLC com vigas em formato de arco.....	21
Figura 3	Contribuição na demanda de energia para a confecção dos materiais necessários para a construção de 1 m ² (área de piso) na Espanha.....	24
Figura 4	Contribuição de emissões de CO ₂ associadas com a fabricação de materiais necessários para a construção de 1 m ² (área de piso) na Espanha.....	24
Figura 5	Comparativo do uso de CLT x Concreto armado.....	25
Figura 6	a) esquema do corpo de prova e dimensões adotadas, b) dispositivo de ensaio, c) corpo de prova utilizado.....	39
Figura 7	Processo de prensagem das vigas coladas para a extração dos corpos de prova para os ensaios de cisalhamento na linha de cola.....	40
Figura 8	Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na direção paralela às fibras.....	40
Figura 9	Diagrama de montagem e corpo de prova produzido, para o ensaio de delaminação.....	41
Figura10	Equipamentos (autoclave) para ensaio de delaminação na linha de cola (a), e manômetro para controle de pressão.....	42
Figura 11	Adesivo PU pronto para a mistura (A), colagem das lamelas (B), vigas posicionadas para a prensagem (C e D).....	43
Figura 12	Corpos de prova no ensaio de cisalhamento a), corpo de prova rompido.....	44
Figura 13	A) estufa com umidade controlada. B) Medição da abertura de delaminação. C) corpo de prova delaminado.....	47
Figura 14	Lamela individual instrumentalizada com extensômetros para a execução do ensaio de flexão para obtenção do MOE.....	48
Figura 15	Sequência de lamelas para montagem das vigas de MLC.....	48
Figura 16	Viga colada da espécie <i>Hymenaea courbaril</i> – Jatobá, no ensaio de MOE (A) e no MOR (B).....	50
Figura 17	Configuração de montagem da viga colada para o ensaio de flexão estática de 3 pontos.....	50
Figura 18	Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle (testemunha), para as espécies do grupo D18, Letras iguais indicam semelhança estatística.....	53
Figura 19	Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle (testemunha). Letras iguais indicam semelhança estatística.....	55
Figura 20	Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle (testemunha) do grupo D60. Letras iguais indicam semelhança estatística.....	56
Figura 21	Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle	

	(testemunho) do grupo D60. Letras iguais indicam semelhança estatística.....	56
Figura 22	Tratamento x espécie – comparação entre resistências ao cisalhamento $f(v)$	57
Figura 23	Tipos de ruptura em função do adesivo utilizado.....	59
Figura 24	Tipos de ruptura em função do adesivo utilizado.....	60
Figura 25	Resultados de ensaios de Exposição acelerada – Delaminação..	63
Figura 26	Resultados de ensaios de Exposição acelerada – Delaminação..	64

LISTA DE QUADROS

Quadro -1	Planejamento dos ensaios de cisalhamento.....	45
Quadro -2	Resumo dos procedimentos adotados no ensaio.....	45
Quadro -3	Planejamento do número de CPS, sendo: espécie x Adesivo x quantidade.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela -1	Classificação do tipo de adesivo segundo a norma chilena (NCh2148).....	31
Tabela -2	Adesivo, fabricante, gramatura e tempo em aberto.....	31
Tabela -3	Espécies selecionadas, suas densidades aparente e teor de umidade.....	37
Tabela -4	Propriedades físicas e mecânicas das espécies da classe D18.	52
Tabela -5	Propriedades físicas e mecânicas das espécies das classes D24 e D30.....	52
Tabela -6	Propriedades física e mecânica das espécies das classe D40.	52
Tabela -7	Propriedades física e mecânica da espécie.....	52
Tabela -8	Resistência ao cisalhamento de MLC de espécies amazônicas confeccionada com diferentes adesivos comparado à madeira in natura (testemunha).....	54
Tabela -9	Eficiência (%) de colagem de MLC de espécies amazônicas confeccionado com diferentes adesivos comparado a madeira in natura (Testemunha).....	62
Tabela -10	Espécies que atenderam os limites de delaminação nos ensaios de exposição acelerada, em conjunto com os tratamentos estudados.....	65
Tabela -11	Ensaio de flexão estática em lamelas individuais de vigas de MLC para 03 (três) espécies de madeiras amazônicas.....	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Relevância do tema justificativa.....	16
1.2	Objetivos.....	18
1.2.1	Objetivos geral.....	18
1.2.2	Objetivos específicos.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	19
2.1	Madeira lamelada colada.....	19
2.1.1	Processo de produção da MLC.....	25
2.1.1.1	Primeira fase.....	26
2.1.1.2	Segunda fase	26
2.1.1.3	Terceira fase.....	26
2.2	Adesivos.....	27
2.2.1	Contexto Histórico.....	27
2.2.2	Advento dos sintéticos.....	27
2.2.3	Processo de adesão.....	28
2.3	Tipos de adesivos.....	31
2.3.1	Característica dos adesivos.....	32
2.3.1.1	Imperveg® AGT 1315 – PU.....	32
2.3.1.2	Multibond X-080 (PVAc).....	32
2.3.1.3	Advantag EP-950A (EPI).....	32
2.3.1.4	JowaPUR 687.22 – PUR.....	32
2.4	Madeiras.....	33
2.4.1	Espécies: Foram selecionadas 10 (dez) espécies para o estudo.....	33
2.4.1.1	Dipteryx odorata - Cumaru.....	33
2.4.1.2	Astronium lecointei - Muiracatiara.....	33
2.4.1.3	Couratari tauarí. – Tauarí.....	34
2.4.1.4	Jacaranda sp. – Parapará.....	34
2.4.1.5	Mezilauros itauba – Itaúba.....	34
2.4.1.6	Hymenaea courbaril. – Jatobá.....	35
2.4.1.7	Cedrela fissilis. – Cedro.....	35
2.4.1.8	Euxylophora paraenses. – Amarelão.....	35
2.4.1.9	Cordia goeldiana Huber. – Freijó.....	36
2.4.1.10	Simarouba amara Aubl., Simaroubaceae. – Marupá.....	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1	Seleção das espécies.....	37
3.2	Preparo dos corpos de prova.....	38
3.2.1	Ensaio de cisalhamento na linha de cola.....	38
3.2.1.1	Corpo de prova para o cisalhamento da madeira maciça (testemunha).....	40
3.2.1.2	Corpo de prova para ensaio de delaminação durante a exposição acelerada e equipamento utilizado.....	40
3.2.1.3	Corpo de prova da viga laminada colada para ensaio de flexão estática.....	43
3.3	Ensaios.....	43

3.3.1	Ensaio de cisalhamento na linha de cola, paralelo às Fibras e cisalhamento de testemunha de madeira maciça.....	44
3.3.2	Ensaio de delaminação durante a exposição acelerada.....	45
3.3.3	Ensaio de flexão estática em vigas de MLC.....	47
3.3.4	Planejamento estatístico.....	51
4	RESULTADOS.....	52
4.1	Resistência ao cisalhamento na linha de cola.....	52
4.1.1	Interação tratamento x espécie.....	57
4.2	Tipos de ruptura em função do adesivo utilizado.....	58
4.3	Eficiência de colagem em função do adesivo utilizado	60
4.4	Percentual de delaminação em condição acelerada.....	63
4.5	Resistencia a flexão estática para MLC de madeiras amazônicas com diferentes adesivos.....	66
5	DISCUSSÕES.....	67
5.1	MLC de espécies da classe de densidade D18.....	67
5.2	2 MLC de espécies da classe de densidade D40 e D50.....	68
5.3	MLC de espécies da classe de densidade D60.....	69
5.4	MLC de espécie da classe de densidade D70.....	70
5.5	Vigas de MLC.....	70
6	CONCLUSÕES.....	72
7	RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
	REFERENCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 Relevância do Tema e Justificativa

A madeira como é um material de construção em constante crescimento devido a características favoráveis quando comparadas com as demais, como o aço e o concreto (KANDLER et. al. 2018). Esses materiais estruturais de origem não biológica são geralmente caracterizados por boas propriedades de resistência, no entanto, o processo de fabricação além de ser complexo, acarreta impactos ambientais negativos ou grande massa. (SONG et al, 2018). Em contrapartida, a madeira é um material largamente empregado em diversos campos devido à sua relação entre resistência mecânica e densidade, que é tida como uma das mais altas em comparação aos demais materiais empregados na construção civil (ALMEIDA et. al., 2016).

A utilização da madeira como material principal em projetos estruturais vem crescendo consideravelmente, em função da sua característica renovável, ótima trabalhabilidade e elevada resistência mecânica (BATTISTI, 2017), além de novas soluções tecnológicas para sistemas construtivos industrializados de madeira.

No entanto, boa parte destes projetos utilizam apenas madeiras provenientes de plantios de pinus e eucaliptos, todavia, importante citar que a extração madeira na região amazônica é uma das principais atividades econômicas da região norte do país, principalmente no estado do Pará, que no ano de 2020, teve a produção aferida em 2,2 milhões de metros cúbicos, sendo que esta estimativa não leva em consideração o último trimestre desse ano (IMAFLOA, 2020),

Na Amazônia existem cerca de 695 espécies com potencial madeireiro (CARNEIRO, 2020), entretanto, não há estudos abrangentes sobre a utilização destas espécies para aplicação como MLC.

A Madeira Lamelada Colada (MLC), segundo Calil (2011), é um produto engenheirado que requer precisão de fabricação em todos os seus estágios.

Atualmente MLC é uma das mais versáteis e eficientes formas de aplicação da madeira engenheirada na construção civil.

A MLC agrega valor ao material, sendo utilizada em todo mundo nas mais variadas formas e dimensões, para os mais diferenciados tipos de aplicação (APA, 2021).

As aplicações de MLC destinavam-se primeiramente a sistemas estruturais interiores. No entanto, o desenvolvimento de adesivos à prova de água permitiu que a MLC passasse a ser utilizada com sucesso em estruturas expostas a intempéries, viabilizando a construção de coberturas, pontes e elementos estruturais, como vigas, colunas, dormentes e cruzetas (ICIMOTO et al., 2016).

Neste contexto estão inseridas as madeiras engenheiradas, que superam os inconvenientes que as madeiras maciças oferecem, como a anisotropia, a baixa durabilidade biológica, a baixa estabilidade global e a baixa resistência ao fogo (MORADPOUR et al., 2018).

Este material é mais resistente que o aço e, possui maior resistência e rigidez que a madeira maciça nas mesmas dimensões (APA, 2019).

A MLC pode ser uma alternativa promissora de aplicação desses recursos florestais nativos na construção civil e na construção naval, promovendo o desenvolvimento sustentável da região e a utilização racional da madeira. Porém, para se definir a utilização de espécies da região amazônica para o uso em MLC torna-se necessário a avaliação de parâmetros relacionados à madeira, ao processo de adesão e aos elementos estruturais de MLC para avaliar a compatibilidade e a qualidade da ligação madeira-adesivo.

Albuquerque (2005) afirma que é possível colar praticamente todas as madeiras, e que as espécies mais recomendadas são as coníferas e algumas folhosas, no entanto o conhecimento que se tem, de estudos sobre a utilização de espécies amazônicas para aplicação em MLC é sobre algumas poucas espécies como *Schizolobium amazonicum* (ALMEIDA et al, 2012), *Protium puncticulatum*, *Eschweilera coriácea*, *Manilkara amazônica*, *Inga paraenses*, *Eschweilera odora* e *Byrsonima crispera*, (BILA et al. 2016).

Assim, a caracterização da resistência da lâmina de cola e de vigas de MLC para diferentes pressões de colagem, adesivos e faixas de densidades é uma etapa de extrema importância para definir o potencial de aplicação dessas espécies em MLC, tanto do ponto de vista de produção quanto de dimensionamento dos elementos estruturais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente estudo se propõe a analisar a colagem de madeira proveniente de dez espécies folhosas nativas da Amazônia, de densidades distintas, afim de investigar seus comportamentos mecânicos e verificar o potencial de uso para MLC.

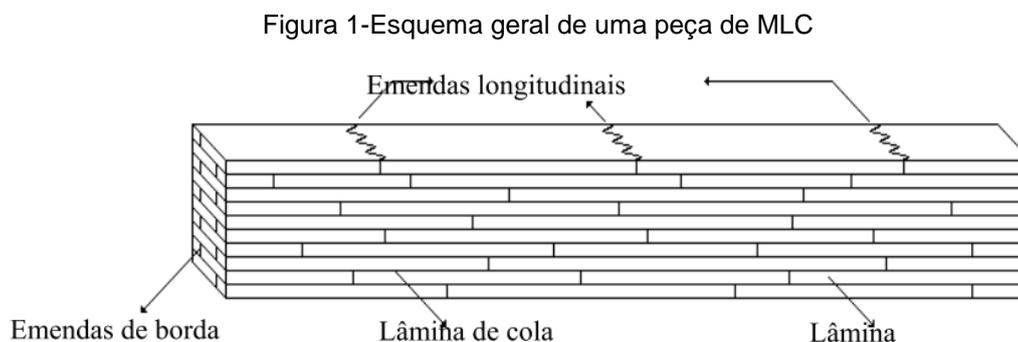
1.2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar ensaios em madeira oriunda de árvores nativas comerciais da Amazônia para determinar a resistência ao cisalhamento da linha de cola em diferentes espécies;
- b) Utilizar as espécies com maior resistência na linha de cola para serem usadas no processo de MLC;
- c) Analisar as resistências mecânicas nas lamelas submetidas a flexão simples;
- d) Avaliar através de ensaios de exposição acelerada – delaminação, a interação entre tratamentos / espécies, quando submetidas às condições ambientais de longo prazo.
- e) Produzir vigas Lameladas coladas para determinar seus MOE e MOR e avaliar a resistência à flexão e ao cisalhamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Madeira lamelada colada

A MLC consiste na união de duas ou mais camadas de madeira pelo uso de um adesivo. As lâminas de madeira são selecionadas previamente e preparadas com suas fibras em direção paralela, no sentido de seu comprimento. A espessura máxima permitida das lâminas é de até 5 cm, podendo ser unidas por topo-base, borda-borda e face-face (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 1999). A figura 1 representa o diagrama de produção e colagem das lamelas, mostrando emendas longitudinais e de borda, bem como as lamelas e a linha de cola.



Fonte: Macedo, A. N. (2001)

Lamelas - apresentam espessura variável de acordo com o tipo do elemento estrutural, podendo variar de 1cm (3/8") a 5cm (2");

Lâminas de Cola - são constituídas por um tipo de adesivo compatível com a madeira e a finalidade do elemento estrutural e o tipo de exposição;

Emendas longitudinais - são utilizadas para a obtenção de lamelas de comprimentos suficientemente grandes;

Emendas de borda - são empregadas para obtenção de largura superior à largura das tábuas disponíveis.

A madeira é muito empregada em diferentes campos, dentre os principais tem-se a construção civil, visto que a relação entre resistência mecânica e densidade, para a madeira, é das mais altas no caso dos materiais empregados na construção civil (ALMEIDA et. al., 2016).

Para Battisti (2017), a utilização da madeira como material principal em projetos estruturais vem crescendo consideravelmente, visto que esse material advém de fonte

renovável, possui uma ótima trabalhabilidade e dispõe de resistências mecânicas elevadas.

No contexto das soluções tecnológicas para sistemas construtivos industrializados de madeira estão inseridos as log homes, wood frame e as madeiras engenheiradas, como: madeira laminada cruzada (Cross Laminated Timber - CLT), madeira microlaminada (Laminated Vanner Lumber - LVL), madeira lamelada colada sob alta pressão e temperatura (Parallel Strand Lumber - PSL), madeira laminada colada (MLC), madeira laminada serrada (Laminated Strand Lumber - LSL), madeira serrada orientada (Oriented Strand Lumber - OSL), madeira laminada pregada (Nail-Laminated Timber - NLT), madeira laminada cavilhada (Dowel Laminated Timber - DLT) e painel de tiras de madeira orientadas (Oriented Strand Board - OSB), que superam os inconvenientes que as madeiras maciças oferecem, como a anisotropia, a fraca durabilidade biológica, a baixa estabilidade global e a baixa resistência ao fogo (MORADPOUR et al., 2018).

A Madeira Lamelada Colada (MLC) é um produto engenheirado que requer precisão de fabricação em todos os seus estágios (CALIL, 2011). Também conhecida como Glulam, a madeira lamelada colada (glued laminated timber) representa um material mais forte que o aço e, com maior resistência e rigidez que a madeira convencional com dimensões comparáveis (APA, 2019), agregando valor ao material, sendo utilizada em todo mundo nas mais variadas formas e dimensões, para os mais diferenciados tipos de aplicação (APA, 2021)

As aplicações de MLC destinavam-se primeiramente a sistemas estruturais interiores. No entanto, o desenvolvimento de adesivos à prova de água permitiu que a MLC passasse a ser utilizada com sucesso em estruturas expostas a intempéries, viabilizando a construção de coberturas, pontes e elementos estruturais, como vigas, colunas, dormentes e cruzetas (ICIMOTO et al., 2016).

Albuquerque (2005) afirma que é possível colar praticamente todas as madeiras, sendo as coníferas e algumas folhosas as mais recomendadas para tal uso, porém não se tem conhecimento de estudos mais aprofundados sobre a utilização de espécies amazônicas para aplicação em MLC. Frisa-se que há na Amazônia cerca de 695 espécies com potencial madeireiro (CARNEIRO, 2020), no entanto, faltam estudos para que seu uso vá além da madeira bruta.

Dentro deste contexto a MLC deve ser uma alternativa promissora de aplicação desses recursos florestais nativos na construção civil e na construção naval, tornando-

se uma alternativa bastante atraente, principalmente se for considerado o caráter de desenvolvimento sustentável da região. Porém, para se definir a utilização de espécies da região amazônica em MLC torna-se necessário o levantamento de uma série de parâmetros relacionados às mesmas, ao processo de adesão e às caracterizações de corpos-de-prova e elementos estruturais de MLC para avaliar a compatibilidade e a eficiência da ligação madeira/adesivo, definindo os parâmetros de colagem adequados.

Desta forma, realizar estudo de linha de cola com espécies comumente comercializadas na região amazônica auxilia a compreender se é possível utilizar madeiras desta região para MLC.

Segundo a APA (2021), a madeira laminada colada, ou MLC (glulam), é um material de construção altamente inovador. Quilo por quilo, o MLC é mais forte do que o aço e tem maior resistência e rigidez do que madeira com dimensões comparáveis. Valores de projeto aumentados, desempenho de produto aprimorado e competitividade de custo tornam o MLC a escolha superior para projetos de vigas simples em construção residencial a arcos elevados para telhados abobadados com mais de 150 metros, conforme exemplo mostrado na figura 02.

Figura 2 – Estrutura em MLC com vigas em formato de arco



Fonte: <https://www.apawood.org/Data/Sites/1/media/images/products/apa-product-glulam.jpg>

Por causa da interação entre a madeira e as propriedades adesivas, estudos frequentemente usam um único adesivo com diferentes espécies de madeira, ou vários adesivos com uma espécie de madeira.

A variabilidade estrutural e anatômica existente na madeira afeta, de modo significativo, a performance de uma ligação adesiva. (LATORRACA, 2000)

Considerando as propriedades anatômicas da madeira, a relevância está voltada aos seus efeitos no movimento do adesivo para o interior da estrutura da madeira, ou seja, relativo à penetração (MARRA, 1992).

MLC é uma viga de madeira projetada com classificação de tensão composta de laminações de madeira, ou "lams", que são unidas com adesivos duráveis e resistentes à umidade. O grão das laminações é paralelo ao comprimento do membro. O MLC é versátil, variando de vigas simples e retas a membros curvos complexos.

No Brasil, os atuais critérios de produção, como ensaios para caracterização da MLC e dimensionamento de estruturas, são apresentados pela norma NBR 7190:6/2022 – Método de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural, e alguns novos parâmetros são incluídos.

Nesta, recomenda-se a utilização de peças com densidade aparente entre 0,40 g/cm³ e 0,75 g/cm³, dimensão da lâmina com comprimento superior a 100 cm, espessura máxima de 5 cm e teor de umidade da madeira não superior à 18% no momento da colagem.

Quanto à qualidade da madeira, considera necessária a classificação das peças estruturais por método visual e mecânico. (BOURSCHEID, 2017)

Estudos com utilização de madeiras tropicais no processo MLC, iniciaram somente a partir da década de 80, através de algumas iniciativas oficiais que incentivaram a caracterização de espécies nativas. (ZANGIÁCOMO, 2003).

Como a utilização de produtos de MLC ainda não é muito difundida no Brasil é evidente que estudos devem ser realizados na investigação dos fatores espécies de madeira, adesivo e tratamento para uma caracterização das madeiras que melhor se adaptem a essa combinação (CALIL NETO, 2011).

Oliveira (1997) reportou que o volume dos vasos e as fibras são fatores importantes nas propriedades físicas e mecânicas da madeira em diferentes eucaliptos. Os vasos que possuem elevada dimensão e com paredes delgadas são estruturas que proporcionam baixa resistência mecânica à madeira (CHIMELO, 2007).

Segundo Ferreira et al. (2010), as fibras têm como função principal a sustentação mecânica das árvores, além de correlacionar com as características físicas e químicas da madeira e contribuem na aplicação e uso final da madeira.

Em 2012 foi publicado um artigo de autoria de Almeida *et al*, sobre a madeira amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum Herb*), espécie proveniente da região

amazônica, para determinação de suas propriedades de resistência e rigidez, resistência na linha de cola e comportamento em ensaios de delaminação.

Também foram determinadas as propriedades mecânicas de lamelas com ligações longitudinais dentadas do tipo finger joint. A conclusão foi que a madeira de Paricá é uma boa alternativa para produção de MLC já que os valores das propriedades determinadas nesse trabalho foram bons quando comparados com propriedades de MLC construídas com outras combinações madeira – adesivo.

No entanto foram catalogadas somente no estado do Pará e no sul do estado do Amapá, 695 espécies em 04 áreas de conservação sendo: uma na região de vitória do Jari – Amapá, uma na FLONA do Tapajós, uma no nordeste do Moju e uma no sudeste da mesma região na fazenda do rio Capim. (CARNEIRO, 2020)

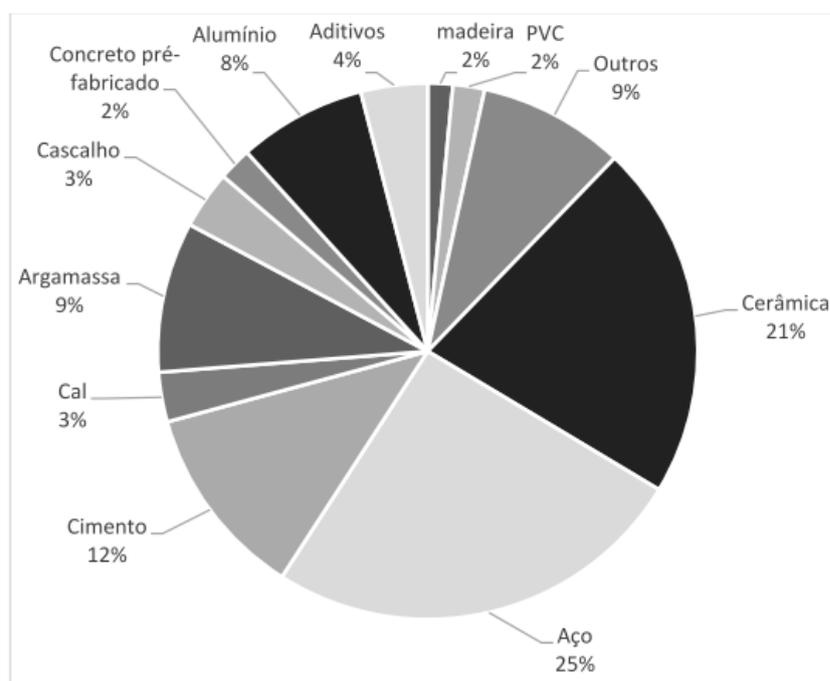
Outro requisito importante nos dias atuais é o desempenho energético dos materiais, fator preponderante na escolha dos mesmos devido às legislações governamentais e ambientais de conforto.

Segundo Silva (2009), na década de 1970, devido à crise energética decorrente dos altos preços do petróleo internacional, grupos de ecologistas, ambientalistas, arquitetos e construtores começaram a desenvolver tecnologias para construções com menor impacto ao meio ambiente, com o uso de fontes alternativas de energia. Nos anos 80, surgiram os primeiros sistemas de avaliação de desempenho ambiental dos edifícios, sendo o sistema Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) o primeiro e mais conhecido destes. Em seguida vieram outros sistemas, como o Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), que atualmente é o método mais utilizado no mercado. Ainda há o método Procel Edifica, sistema de avaliação brasileiro instituído pela ELETROBRÁS/PROCEL em 2003.

Na União Europeia (U.E), está em vigor a diretiva 2002/91/CE, através da qual se define uma metodologia comum de cálculo e normas mínimas relativas ao desempenho energético dos edifícios. A intenção é respaldar ações relativas à alteração climáticas (protocolo de Quioto) e desenvolver a eficiência energética. (PEREIRA, 2019).

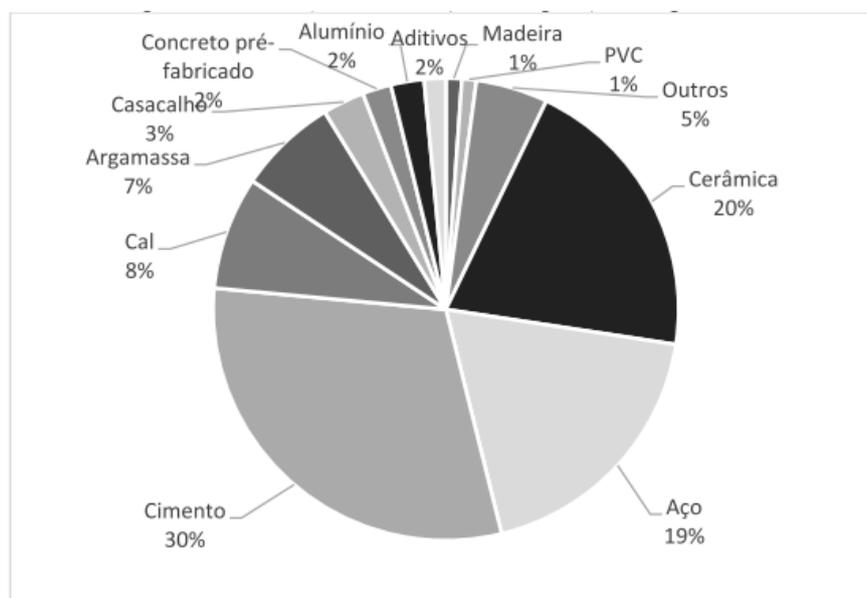
Dados relativos à Espanha exemplificam como cada material tem contribuído para o consumo energético e para a emissão de CO₂ na atmosfera, as figuras 03 e 04, exemplificam essa contribuição.

Figura 3- Contribuição na demanda de energia para a confecção dos materiais necessários para a construção de 1 m² (área de piso) na Espanha.



Fonte: BRIBIÁN et. al. (2011)

Figura 4 - Contribuição de emissões de CO₂ associadas com a fabricação de materiais necessários para a construção de 1 m² (área de piso) na Espanha.

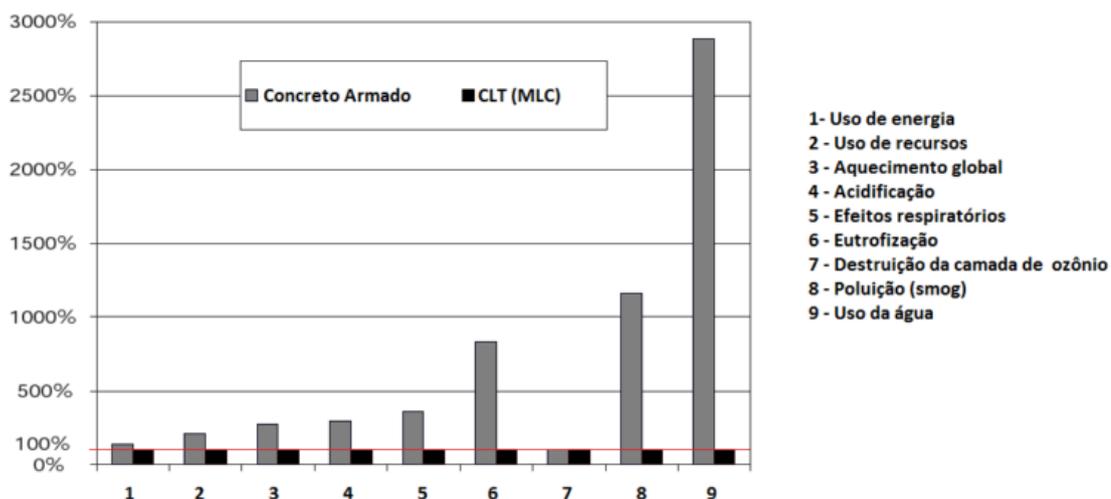


Fonte: BRIBIÁN et. al. (2011)

Tanto no consumo de energia primária como, quanto para a contribuição de emissão de CO₂, os materiais mais agressivos são as cerâmicas, o cimento e o aço.

Mahalle, O'Connor e Barry (2011) estabeleceram algumas características ambientais do CLT, fazendo analogia a partir do MLC canadense, tomando como base seu ACV (avaliação do Ciclo de Vida), comparando com o concreto armado em um edifício localizado em Londres e que possui 30 metros de altura, a figura 05 demonstra a comparação feita entre o consumo estimado, fornecido pelos projetistas, de 950 m³ de concreto e 120 toneladas de aço, e o equivalente em madeira estimados em 910 m³.

Figura 5 - Comparativo do uso de CLT x Concreto armado.



Fonte: Pereira (2019), adaptado de Mahalle, O'Connor e Barry (2011).

Nessas pesquisas desenvolvidas, fica evidente a vantagem da utilização da madeira como elemento estrutural principal de uma edificação, para a redução da pegada de carbono, principalmente melhorando indicadores ambientais como aquecimento global, à degradação da camada de ozônio e ao uso de energia. (PEREIRA, 2019).

Estudar os mecanismos responsáveis pela ligação adesiva à madeira tem sido um aspecto importante da pesquisa em ciência da madeira nos últimos 50 anos (ROHUMA et al. 2019).

2.1.1 Processo de produção da MLC

De acordo com a boletim técnico da empresa Carpinteria, a produção de MLC segue um fluxograma de produção bem definido dividido em fases:

2.1.1.1 Primeira fase

FASE 1.A – CHECAGEM DIMENSIONAL: Garante as dimensões básicas do elemento estrutural a ser fabricado. As peças que estiverem fora dos limites de tolerância são excluídas do ciclo de produção.

FASE 1.B – CHECAGEM DE UMIDADE: Detecta alterações desde a medição feita pelo fornecedor. Os dados são registrados com precisão e armazenados, e posteriormente incluídos na documentação exigida pelos organismos de certificação de qualidade.

FASE 1.C – CHECAGEM DE RESISTÊNCIA: As lâminas podem pertencer a diferentes classes de resistência, e esta etapa permite a escolha das peças mais adequadas a cada tipo de aplicação. Ao fim desta Fase, as tábuas estão prontas para serem transformadas.

FASE 2.C – ESTOCAGEM: A fim de assegurar uma junta padrão, as lâminas são armazenadas por pelo menos seis horas em uma área especial da planta.

2.1.1.2 Segunda fase

FASE 2.A – FINGER JOINT: Sistema que fornece uma emenda precisa, resistente, rápida e que garante excelente qualidade final do produto (consiste em transformar a tensão de tração longitudinal em tensão de cisalhamento ao longo das linhas de colagem).

FASE 2.B – PRENSAGEM DAS TÁBUAS COM FINGER JOINT: Uma vez que as finger joints são usinadas, as placas vão para uma prensa hidráulica de alto desempenho, com pressão adequada ao tipo da madeira.

FASE 2.C – ESTOCAGEM: A fim de assegurar uma junta padrão, as lâminas são armazenadas por pelo menos seis horas em uma área especial da planta

2.1.1.3 Terceira fase

FASE 3.A – COLAGEM: A colagem é elemento chave do ciclo de produção, com claro impacto na qualidade final do produto. O adesivo é aplicado em uma única face, onde os bicos do aplicador de cola formarão uma cortina. Isso deve ocorrer dentro de 48h após o aplainamento, para evitar a oxidação da superfície da madeira.

FASE 3.B – ESTRATIFICAÇÃO DAS LÂMINAS: As lâminas vão para a “cama de prensa”, uma superfície para fixação dos gabaritos.

FASE 3.C – PLANEJAMENTO DAS VIGAS: No passo seguinte utilizamos a máquina de plaina, onde são removidas quaisquer irregularidades das superfícies das vigas.

FASE 3.D – ACABAMENTO E IMPREGNAÇÃO: As vigas seguem para o setor de acabamento, onde é feito o tratamento de superfície através de pistola – o produto é um impregnante com função hidrorrepelente, fungicida e bactericida.

2.2 Adesivos

2.2.1 Contexto Histórico

Segundo Lambuth (1989), há uma referência de 90 anos que dá uma imagem bastante clara da escolha adesiva da indústria de madeira de, digamos, da revolução industrial em meados de 1700 até cerca de 1930. O boletim do Departamento de Agricultura dos EUA de 1929 instituiu para a colagem da madeira, cinco classes de adesivos mais usados na marcenaria durante esse longo período de tempo. Estes incluíam colas de animais, colas líquidas, colas de proteína vegetal, colas de amido e colas de albumina de sangue.

A segunda guerra mundial viu o uso extensivo de colas de soja e sangue em dispersões alcalinas, utilizadas em compensado para todos os tipos de aplicações, como construção em geral, embalagem e transporte.

2.2.2 Advento dos sintéticos

Como resultado do cumprimento com sucesso do desafio da Segunda Guerra Mundial, grandes indústrias de refino de petróleo e petroquímica estavam em vigor. Cada uma com capacidade ociosa substancial logo após a guerra. Resorcinol formaldeído, resinas para ligar carvalho branco em armações de varredor de minas e revestimento de bétula em lâminas de hélices de helicóptero foram desenvolvidos durante a guerra para atender emergências nacionais.

De acordo com A. Rohumaa, et al. (2019) As primeiras colas eram feitas de matérias-primas naturais e renováveis. Hoje, a grande maioria dos adesivos são derivados de combustíveis fósseis por causa do desempenho e custo. No entanto,

tem havido grande interesse em adesivos renováveis em últimos anos impulsionado por preocupações com a saúde humana e sustentabilidade. O principal, as preocupações com a segurança e a saúde se concentraram na uréia-formaldeído e nos isocianatos.

Os biomateriais sob investigação incluem lignina, proteínas, bio-óleos, hemiceluloses e outros.

O baixo desempenho das juntas coladas com adesivo PVAc em comparação ao adesivo EPI, pode ser atribuído ao processo de cura desses adesivos, pois, de acordo com Correa (1997), a cura do adesivo PVAc ocorre pela simples evaporação do solvente (água), resultando numa colagem de baixa resistência quando expostas às condições de alta umidade. Já a cura do adesivo EPI ocorre pela reação de seus grupos de isocianato com os grupos hidroxilas da madeira, promovendo uma adesão química mais forte. (BILA et al. , 2016).

2.2.3 Processo de adesão

A adesão (fenômeno interfacial ou a energia de separação de dois substratos) entre a madeira e o adesivo depende de uma série de fatores como, as características inerentes à própria madeira (anatomia, química e física), características do adesivo (químicas e físicas) e do processo adotado durante a colagem propriamente dita. (ALBINO et al, 2010)

Segundo Schultz e Nardin (1994), a teoria da adesão mecânica parte de uma chave mecânica, ou ancoragem, do adesivo dentro de cavidades, poros e asperezas da superfície da madeira. O aumento da adesão mecânica pode ser atribuído simplesmente ao aumento da área interfacial devido à rugosidade da superfície e não às características do substrato. A teoria da difusão de polímeros admite que a adesão ocorra através da difusão de segmentos de cadeias de polímeros a nível molecular através da interface, que permite conseqüentemente uma absorção gradual. E a teoria da adesão química admite que a adesão ocorra através de ligações primárias iônicas ou covalentes, e/ou por forças intermoleculares secundárias que ocorre entre o adesivo e o substrato. A formação da ligação química irá depender da reatividade entre o adesivo e o substrato. Na prática, diversos mecanismos de adesão ocorrem simultaneamente no processo de colagem da madeira (SCHULTZ e NARDIN, 1994).

A literatura mostra que alguns adesivos entram na parede celular e outros não, geralmente por causa das limitações de peso molecular para infiltração da parede celular. Bem menos compreendido é o impacto do parâmetro de solubilidade do adesivo e teor de umidade da estrutura da madeira no processo colagem. O parâmetro de solubilidade do adesivo poderia determinar em qual domínio da parede celular os componentes adesivos residirão, e como o adesivo modifica as propriedades desse domínio.

De acordo com Burger e Richter (1991), madeiras de alta massa específica apresentam menor volume de espaços vazios para a penetração de adesivo líquido, acarretando na redução da resistência da ligação adesiva entre duas peças de madeira coladas.

A estrutura química do adesivo sólido influencia a coesão do adesivo (rígida e quebradiça vs. dúctil e elástica) e o comportamento da temperatura de linha de cola, com comportamento duroplástico relativamente independente da temperatura e comportamento termoplástico perdendo força de adesão na temperatura de transição vítrea (T) do adesivo sólido. A formação da linha de ligação sólida normalmente envolve encolhimento devido à perda de água e polimerização ou reticulação de moléculas adesivas. (ROHUMAA, et al, 2019)

Diferenças significativas foram observadas entre as propriedades dos adesivos destinado a produtos de madeira sólida em comparação com adesivos destinados ao uso em compósitos.(STOECKEL, et al, 2013).

Manter duas superfícies juntas é um trabalho de arte. Existem vários tipos de adesivos, escolher o certo depende acima de tudo dos materiais que queremos colar.

As propriedades da madeira possuem um nítido efeito nas ligas adesivas e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades para colagem do que as de coníferas, (KOLLMANN et al. 1975). As características anatômicas da madeira possuem uma significativa influência na colagem de madeiras, a exemplo da variabilidade na densidade e porosidade que ocorre em: lenhos inicial e tardio, cerne e alburno, e lenho juvenil e adulto, (IWAKIRI, 1998). Outrossim, destaca-se a influência da instabilidade dimensional do lenho de reação, assim como o da direção da grã, em que a penetrabilidade se relaciona com a direção de corte.

Considerando as propriedades anatômicas da madeira, a relevância está voltada aos seus efeitos no movimento do adesivo para o interior da estrutura da madeira, ou

seja, relativo à penetração. Entre as diferenças existentes nas espécies está o padrão de crescimento de cada árvore, (IWAKIRI, 1998).

Durante a estação de crescimento, formam-se diferentes tipos e tamanhos de células, isto dependendo da demanda geneticamente conduzida, que sofre alterações ao longo do tempo. Então, são formados anéis de crescimento onde grandes células são formadas no lenho inicial, e células robustas no lenho tardio. (ALBUQUERQUE, 2005)

Algumas árvores apresentam um crescimento uniforme durante todo o ano e, portanto, produzem anéis menos distintos, (MARRA, 1992). Uma característica a ser considerada em madeiras de folhosas é o perfil dos anéis de crescimento, que consiste em: porosidade em anel, difusa e semidifusa; transição abrupta ou gradual, entre lenho inicial e tardio de coníferas, (BURGER e RICHTER, 1991; MARRA, 1992).

Os adesivos devem ser escolhidos considerando as condições climáticas de uso (classes de uso), a espécie de madeira, o preservativo usado e os métodos de fabricação.

Os adesivos PUR e EPI são mais elásticos e, portanto, permitem transição de deformação mais suave, mostrando picos de deformação menos distintos do que PRF e MUF

Segundo a NCh2148.cR2010, as classes de uso nas quais os elementos estruturais laminados podem se enquadrar são:

Classe de uso 1 (interior) – Corresponde a ambientes internos, protegidos da chuva, de altas temperaturas e de excessos de umidades. Caracteriza-se por um teor de umidade nos materiais correspondentes a uma temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e uma umidade relativa do ar em torno de 65%. Por exemplo, um edifício com circulação e aquecimentos esporádicos, nos quais a madeira permanece com uma umidade menor que 18%, tal é o caso de habitações e escritórios.

Classe de uso 2 (exterior coberta) – Em edifícios com aquecimentos e alta umidade relativa amplia as variações climáticas de umidade e temperatura, como é o caso de lavanderias.

Caracteriza-se por um teor de umidade nos materiais correspondentes a uma temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e uma umidade relativa do ar acima de 85%. Por exemplo em elementos expostos a uma atmosfera interior com uma alta umidade relativa, porem protegidos do sol e da chuva, como é o caso de piscinas cobertas, lavanderias, etc.

Classe de uso 3 (exterior) – Caracteriza-se pelas condições climáticas que permitem teores de umidade superiores à da Classe de uso 2. Corresponde a ambientes agressivos que determinam que o teor de umidade da madeira fique a longos períodos de tempo frequentemente, por mais de 19%. Tal é o caso de uma exposição direta ao tempo, a temperaturas maiores de 30°C, a ambientes de alta umidade relativa ou similares.

Para garantir a integridade (segundo a NCh2148.cR2010), das ligações coladas durante a vida útil do elemento lamelas, deve se classificar os adesivos em dois tipos: I e II, de acordo com as classes de uso em condições climáticas dada na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do tipo de adesivo segundo a norma chilena (NCh2148).

Classe de Uso	Descrição	Umidade de Equilíbrio da Madeira (%)	Temperatura	Tipo de Adesivo
1	Interior	≤ 12%	< 50°C	I
2	Exterior	≤ 18% para madeiras sem preservação	< 50°C	I
	Coberta	≤ 20% para coníferas com preservação		
3	Exterior	Qualquer	Qualquer	II

Fonte: NCh2148.

2.3 Tipos de adesivos

Foram utilizados 04 (quatro) tipos de adesivos relacionados na tabela 02.

Tabela 2 – Adesivo, fabricante, gramatura e tempo em aberto.

Adesivo	Fabricante	Gramatura (g/m ²)	Tempo em aberto (Min)
PU - Poliuretano vegetal a base de óleo de mamona AGT 1315	Imperveg®	200	15
PVAc - MULTIBOND X-080	Franklin Adesives & Polymers	200	10
EPI- ADVANTAGE EP-950A	Franklin Adesives & Polymers	200	10
PUR- JowaPUR® 687.22	JOWAT Klebstoffe	250	20

Fonte: Autoria própria.

2.3.1 Característica dos adesivos

2.3.1.1 Imperveg® AGT 1315 – PU

É uma resina a base de poliuretano (PU) vegetal (originado do óleo de mamona), bi-componente, 100% sólido (isento de solventes) não liberando vapores tóxicos, formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um polioliol (componente B), resultando em polímeros com diferentes características, de excepcional estabilidade físico-química, elasticidade, impermeabilidade.

Como propriedade apresenta excelente resistência à ação do intemperismo e águas contendo substâncias agressivas como sais, ácidos e álcalis.

2.3.1.2. Multibond X-080 (PVAc)

É um adesivo de emulsão de acetato de polivinila crosslinking (reticulável) bi componente que, quando utilizado com catalizador TSA, atinge alto nível de resistência à água. É especialmente recomendado para aplicação de uso exterior.

Pressões recomendadas

Madeira	Pressão
Madeiras de baixa densidade	100 – 150 psi (7 – 10 Kgm/cm ²)
Madeiras de média densidade	125 – 175 psi (9 – 13 Kgm/cm ²)
Madeiras de alta densidade	175 – 250 psi (13 -18 Kgm/cm ²)

2.3.1.3 Advantag EP-950A (EPI)

É um adesivo bi componente de emulsão acrílica polimerizada com isocianato (EPI), desenvolvido com excepcional resistência à água e ao calor. Excede as exigências da norma ASTM D2559-12a e ASTM D7247-07ae1. Este adesivo pode ser utilizado em equipamentos de colagem a frio e a quente.

2.3.1.4 Jowapur 687.22 – PUR

Jowapur 687.22 é um adesivo universal para colagem de janelas, portas, escadas, móveis de jardim, materiais de madeira, laminados, materiais minerais e

cerâmicos, elementos compostos (metal, madeira, espuma, etc.), bem como para trabalhos de bancada e montagem. O produto colado deve ser protegido contra o contato direto com a água até a cura total, produto de cura rápida, ideal para trabalho de bancada e montagem, ligação resistente às intempéries (D4 cumprida de acordo com DIN EN 204/205), no entanto o produto colado deverá ser protegido das intempéries.

2.4 Madeiras

2.4.1 Espécies: Foram selecionadas 10 (Dez) espécies para o estudo:

2.4.1.1. *Dipteryx odorata* - Cumaru.

Características gerais: Árvore grande, nativa da floresta primária de terra firme. No gênero *Dipteryx* existe cerca de 10 outras espécies que ocorrem na América central e Brasil, incluindo as espécies da Amazônia e do cerrado. Madeira muito pesada; cerne castanho-escuro, de aspecto fibroso atenuado; alburno bege claro, escasso; grã irregular; textura média; cheiro desagradável. Difícil de trabalhar, capaz de receber bom polimento; madeira bastante durável.

2.4.1.2 *Astronium lecointei* - Muiracatiara.

Características gerais: Cerne de cor castanho-avermelhado, demarcado com faixas castanho-escuro em sentido vertical, de espaçamento variável, com belas figuras bem distintas. Grã regular, textura média, cheiro e gosto imperceptíveis.

É considerada uma essência florestal de alto valor comercial, tendo figurado em 2007, como uma das mais exportadas pelas indústrias do estado do Pará (SOUSA et al., 2007).

Características: Madeira natural de cerne marrom-avermelhado distinto do alburno marrom-muito-pálido. Anéis de crescimento distintos. Madeira muito pesada (densidade 1,09 g/cm³), dura ao corte, de textura fina a média, grã revessa, de resistência mecânica elevada e muito resistente ao ataque de cupins e de fungos apodrecedores.

Aplicações: A madeira é indicada para construção civil, como vigas caibros, ripas, tábuas e tacos para assoalhos, batentes de portas, lambris e forros. Para uso externo, como postes, estacas, dormentes; para confecção de carrocerias, vagões, defensas, para construção naval, bem como para o fabrico de móveis.

2.4.1.3 *Couratari tauarí*. – Tauarí.

Árvore encontrada em bosque e sub-bosque em Mata de Terra Firme, atingindo alturas de até 20 m, floração ocorrendo de maio a dezembro, com provável polinização por abelhas, frutos com ocorrência em julho e outubro, a dispersão das sementes das espécies desse gênero se dá através do vento (MORI et al., 1990; MORI; LEPSCH-CUNHA, 1995; RIBEIRO et al. 1999; MORI, 2001).

2.4.1.4 *Jacaranda sp.* – Parapará

Madeira com cerne e alborno indistintos, de cor branco-palha a levemente rosada, apresentando listras vasculares mais escuras; grã direita, textura grosseira; superfície lustrosa podendo receber bom acabamento apresenta uma madeira muito leve, inadequada para movelaria e indicada para lenha e construção leve, por exemplo: brinquedos, caixas, cabo de faca, etc. A árvore cresce muito rapidamente, o que é importante para a regeneração de matas de capoeira. Por isso, esta espécie é bastante indicada para uso em reflorestamento. Quando floresce, é uma linda árvore, ótima para arborização urbana.

2.4.1.5 *Mezilauros itauba* – Itaúba

Árvore de até 35 m de altura, raramente arbustos. Folhas reunidas no topo dos ramos, cartáceas ou coriáceas, glabras na maturidade, elípticas ou obovadas. Inflorescência axilar, subterminal. Flores pubescentes. Frutos elipsoides com cúpula (VAN DER WERFF, 1987). ZOOCÓRICA (AMARAL et al., 2009). Secundária tardia (Amaral et al., 2009). Desenvolve-se em Floresta de Terra-firme, Igapó e Várzea (Amaral et al., 2009).

Devido a sua alta durabilidade e valor madeireiro, a madeira de *Mezilauros itauba* é extraída para diversas finalidades (NASCIMENTO ET AL., 1997; ALVES, 2011). Sua

madeira é indicada para construções externas como pontes, postes, moirões, estacas, esteiras, cruzetas, dormentes; na construção civil para vigas, caibros, ripas, tacos, tábuas, esquadrias, lambris, forro, fabricação de móveis; na confecção de cabos de ferramentas, implementos, embalagens, carroçarias, vagões de trens, tanoaria, barris e tonéis (ALVES, 2011). A madeira é ainda a principal matéria prima para a construção de embarcações de médio e grande porte, no município de Novo Airão, AM, é a Itaúba, antes encontrada em abundância nas matas vizinhas à cidade e agora cada vez mais escassa.

2.4.1.6 *Hymenaea courbaril*. – Jatobá

Madeira muito pesada; cerne vermelho a marrom-claro, apresentando, às vezes, manchas escuras; grã irregular, textura média, recebendo bom acabamento; cheiro imperceptível.

É uma árvore de grande porte que ocorre principalmente em floresta primária de terra firme e várzea alta, com frequência em solos argilosos e solos pobres. Dentre as espécies de *Hymenaea* que ocorrem na Amazônia.

2.4.1.7 *Cedrela fissilis*. – Cedro

Madeira leve a moderadamente pesada, macia ao corte, com boa durabilidade ao ambiente seco, cheiro característico e agradável. A madeira é fácil de trabalhar, largamente usada em compensados, contraplacas, sendo uma das preferidas em esculturas e obras de telha, modelos e molduras, esquadrias, móveis e geral, marcenaria, portas, janelas, na construção civil, naval e aeronáutica, na confecção de pequenas caixas, lápis e instrumentos musicais etc. A madeira possui óleo essencial que aparentemente a protege do ataque de cupins (GRINGS, 2011).

2.4.1.8 *Euxylophora paraenses*. – Amarelão

Espécie arbórea de grande porte da Floresta Amazônica, endêmica do Brasil, tem distribuição restrita aos Estados do Pará e Maranhão. Madeira, de alto valor comercial e com diversas aplicações, é intensamente explorada no Pará. Encontra-se ameaçada pelo rápido declínio populacional, em consequência da exploração da

madeira e pelo desmatamento para assentamentos e atividades agrícolas. Ocorre naturalmente em baixas densidades em florestas preservadas (SEMA, 2011).

2.4.1.9 *Cordia goeldiana* Huber. – Freijó

Cerne de coloração pardo-amarelada ou até pardo claro acastanhado, uniforme ou com listas mais escuras bem esmaecidas e paralelas, raramente exibindo tonalidade rósea. O alburno é pardacento ou branco-acinzentado, com espessura variando de 1,5 a 5,0 cm. Textura média, grã geralmente direita, superfície lustrosa e moderadamente áspera ao tato. Ocorre com maior frequência no Estado do Pará: extremo nordeste, baixo Tocantins e afluentes, e na região de Marabá, em matas altas de terra firme. fora dessa região é rara sua ocorrência. De fácil serragem, aplainamento e colagem. Superfície de acabamento lisa.

2.4.1.10 *Simarouba amara* Aubl., Simaroubaceae. – Marupá

Árvore de copa frondosa, de até 25 m de altura e 80 cm de diâmetro. Tronco reto e cilíndrico, fornecendo toras comerciais com comprimento entre 5 e 22 m. Foi observada na mata uma frequência de 0,1 a 0,6 árvores por hectare, e volumes de 0,1 a 1,4 m³/ha.

Características da Madeira: Cerne pardo, levemente rosado; textura média, grã direita; superfície ligeiramente áspera ao tato e com pouco brilho. Cheiro e gosto imperceptíveis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Seleção das espécies

As espécies foram selecionadas de acordo com critérios cumulativos de comercialização, densidade e disponibilidade in loco. A comercialização definiu-se de acordo com o trabalho desenvolvido por Moreira et al (2022). No que concerne à densidade, trabalhos anteriores sugerem a utilização de espécies com densidades variando entre 0,5 e 0,8 g/cm³, porém neste estudo, haja vista que trata-se da prospecção de espécies não utilizadas para a finalidade de MLC, o intervalo proposto será de 0,31 a 0,91 g/cm³, de acordo com as classes de densidade, tabela 03 - Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais, da NBR 7190:1 (2022)

Posteriormente, verificou-se a disponibilidade das espécies conforme inventário / estoque do pátio de toras da empresa parceira Algime Florestal, a qual trabalha com material proveniente de manejo florestal sustentável com espécies extraídas da Floresta Nacional do Tapajós, município de Belterra, visando a devida seleção conforme tabela 03, que apresenta seu nome vulgar e propriedades físicas.

Tabela 3 – Espécies selecionadas, suas densidades aparentes e teor de umidade.

Espécies			
Nome científico	Nome vulgar	Densidade Aparente g/cm ³	Teor e umidade %
<i>Jacaranda sp.</i>	Parapará	0,31	12
<i>Cedrela fissilis.</i>	Cedro	0,39	
<i>Cordia goeldiana Huber.</i>	Freijó	0,48	
<i>Simarouba amara Aubl.</i>	Marupá	0,50	
<i>Couratari sp. tauari.</i>	Tauari	0,61	
<i>Mezilaurus itauba.</i>	Itaúba	0,68	
<i>Hymenaea courbaril.</i>	Jatobá	0,80	
<i>Euxylophora paraensis.</i>	Amarelão	0,80	
<i>Astronomium lecointei.</i>	Muiracatiara	0,81	
<i>Dipteryx odorata.</i>	Cumaru	0,91	

Fonte: Autoria própria.

As peças de madeiras, devidamente secas em estufa industrial até umidade próxima a 10%, foram obtidas nas dimensões 20 x 60 x 350 mm para os ensaios de cisalhamento na linha de cola e ensaios de delaminação.

Para a confecção de corpos-de-prova para cisalhamento na madeira bruta e obtenção das lamelas para vigas coladas visando ensaios de módulo elástico e flexão estática, utilizou-se amostras de 20x50x1400mm, as quais foram desdobradas posteriormente.

3.2 Preparo dos corpos de prova

3.2.1 Ensaio de cisalhamento na linha de cola

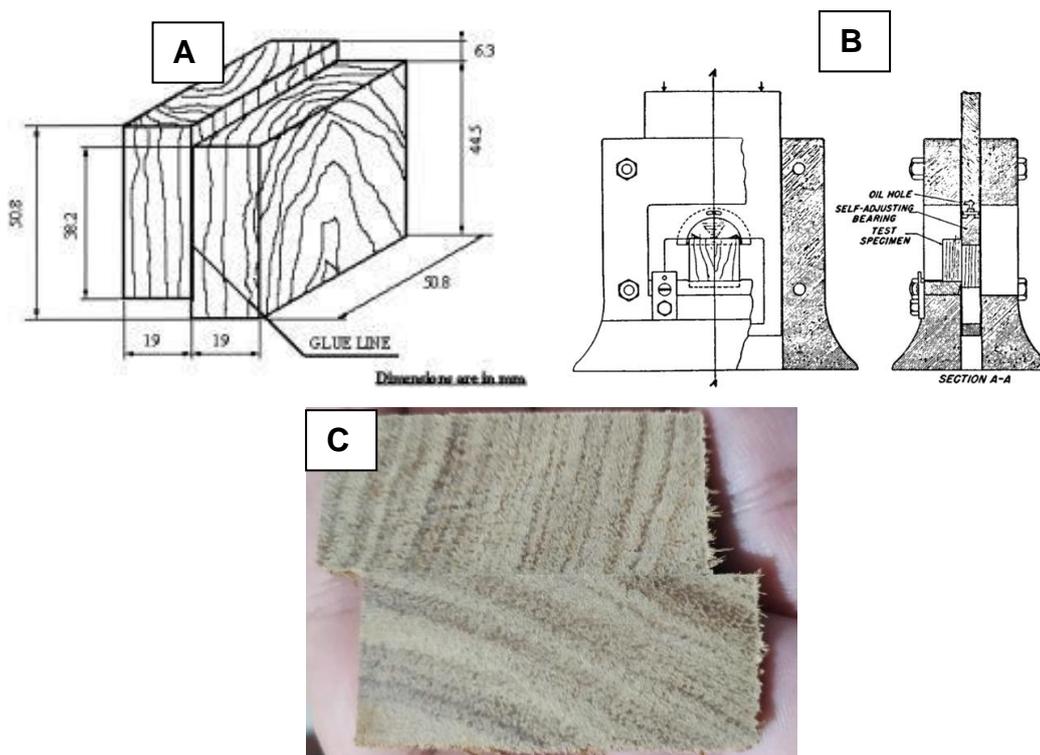
Primeiramente, a madeira foi acondicionada em uma sala de aclimação, sob umidade relativa de 60% ($\pm 5\%$) e temperatura de ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$) $^{\circ}\text{C}$ por um período de aproximadamente de 30 dias até massa constante, visando a estabilização da umidade do material em 12%.

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a norma americana ASTM D 905 (ASTM-98) – “Método de teste padrão para propriedades de ligações adesivas em cisalhamento por carga de compressão”,

Foram confeccionadas pequenas vigas com dimensões das lamelas de (19 x 50 x 350) mm, colados em duas laminas e prensados. Depois foram produzidos no mínimo 20 corpos de prova para cada adesivo, visando a determinação da resistência da ligação da linha de cola através da aplicação de carga de compressão para se obter a resistência ao cisalhamento.

Alguns minutos antes de receber o adesivo, as superfícies foram lixadas por um tempo determinado de 5 segundos, com lixa de grã 60, e devidamente limpas com a finalidade de apresentar as faces ativadas para a aplicação dos adesivos. A figura 06 mostra a representação do corpo de prova (a) e dispositivo de ensaio para o ensaio de cisalhamento (b) e um corpo de prova utilizado (c).

Figura 6 - a) esquema do corpo de prova e dimensões adotadas, b) dispositivo de ensaio, c) corpo de prova utilizado.



Fonte: ASTM D 905 e registro do autor

As pressões de colagem utilizadas foram dimensionadas de acordo com as especificações do fabricante dos adesivos, sendo de 0,7 - 0,10 MPa para madeiras de baixa densidade e 0,9 - 1,3 MPa para madeiras de média e alta densidade. Assim, optou-se por utilizar 0,8 MPa para as madeiras menos densas e de 0,12 MPa para as espécies mais densas. As pequenas vigas foram prensadas em uma prensa com capacidade de 15 Ton, as pressões de colagem foram aferidas por uma célula de carga com capacidade de 100 Tf, conforme mostrado na figura 07. depois de coladas e prensadas as vigas foram retiradas e deixadas em sala de climatização por 24 horas com umidade controlada de 60% ($\pm 5\%$) e temperatura de ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$), até a preparação dos CP's e realização dos ensaios.

Para a obtenção das dimensões foi utilizado paquímetro digital Vonder® com precisão +- 0,02mm.

Figura 7 - Processo de prensagem das vigas coladas para a extração dos corpos de prova para os ensaios de cisalhamento na linha de cola.

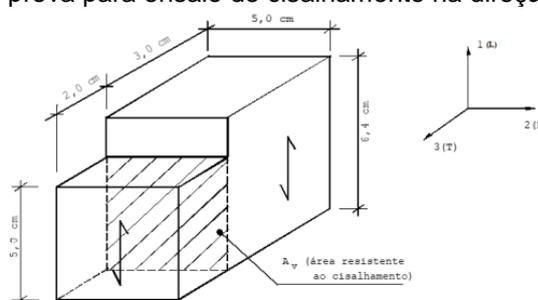


Fonte: Autoria própria.

3.2.1.1 Corpo de prova para o cisalhamento da madeira maciça (testemunha).

Foram confeccionados 20 corpos de prova de cisalhamento por espécie, em madeira maciça, de acordo com a norma NBR 7190-3-2022 (figura 08), para serem utilizados como testemunha para efeito de comparação.

Figura 8 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na direção paralela às fibras.

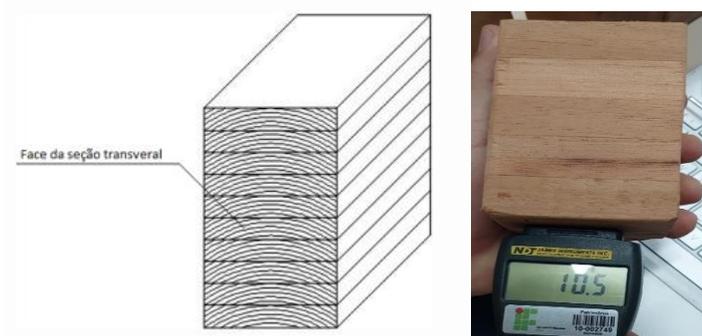


Fonte: NBR 7190-3-2022

3.2.1.2. Corpo de prova para ensaio de delaminação durante a exposição acelerada e equipamento utilizado

Foram preparados 640 CPs no total, sendo 16 CPs por tipo de adesivo para cada espécie, de dimensões 50 x 100 x 75 mm (e-h-c) por viga de MLC confeccionada, a figura 09 mostra o diagrama de montagem do corpo de prova de preparação do CP (a) e um corpo de prova produzido com medição de sua umidade (b).

Figura 9 – Diagrama de montagem e corpo de prova produzido, para o ensaio de delaminação.

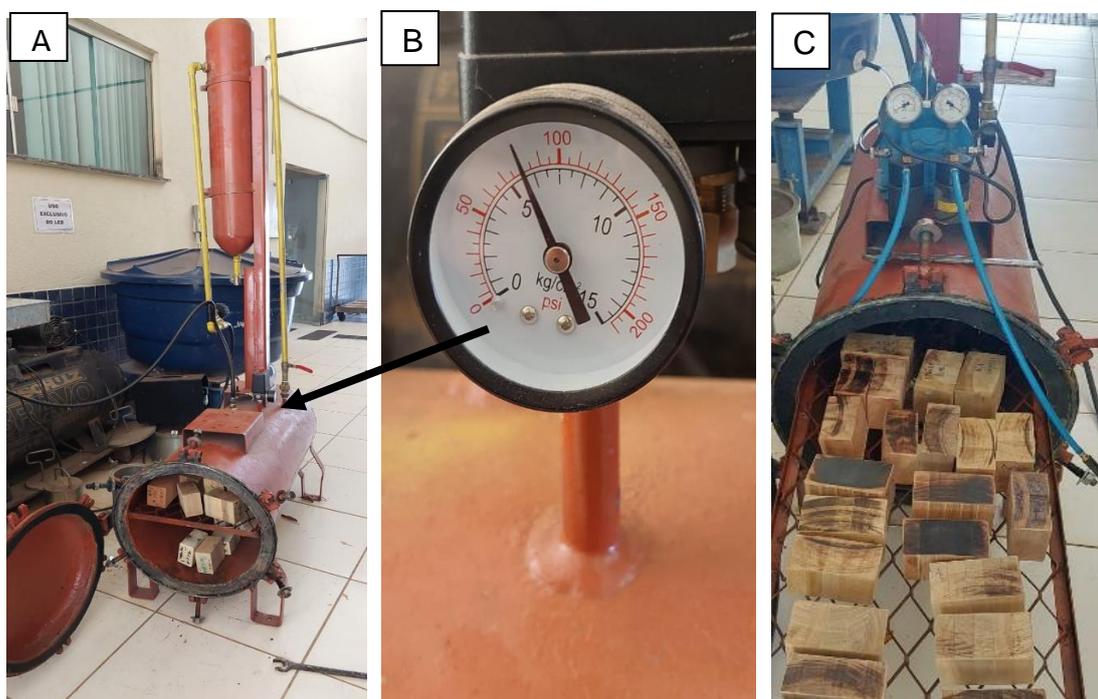


Fonte: ABNT NBR 7190-6:2022 e registro do autor

Para este ensaio, foi fabricada uma autoclave com um reservatório de compressor de ar, com comprimento de 1050 mm e diâmetro de 480 mm, baseado e adaptado a partir do trabalho de (BIANCHI, 2020).

A Autoclave construída tem capacidade de suportar com segurança 550 PA (80 psi), sendo necessário impregnar as amostras com água. O equipamento possui bomba de vácuo capaz de extrair vácuo de pelo menos 85 kPa (25 pol.) Hg (nível do mar) e fornece um método para obtenção de pressões de até 517 kPa (75 psi) e uma caixa d'água plástica com capacidade para armazenamento de 500 litros de água a ser utilizada no ensaio. Foi ainda acoplado um cilindro menor para controle do excesso de água ao longo da etapa de vácuo. Para a aplicação de pressão, foi utilizado um sistema externo de ar comprimido, figura 10 (a), com capacidade de 200 psi, cuja magnitude de pressão foi controlada a partir de um manômetro no compressor e um manômetro na autoclave (b). Para garantia da imersão dos CPs em água ao longo do ensaio, foi utilizada ainda uma tela moeda no interior da autoclave (c), sobre as amostras.

Figura 10 - Equipamentos (autoclave) para ensaio de delaminação na linha de cola (a), e manômetro para controle de pressão.



Fonte: Autoria própria.

3.2.1.3 Corpo de prova da viga laminada colada para ensaio de flexão estática

Após os resultados dos ensaios de cisalhamento na linha de cola e dos ensaios de delaminação, foram confeccionadas 03 vigas em MLC, 01 para cada espécie, de acordo com os resultados mais elevados, com as dimensões de (50x100x1.400) mm. As lamelas individuais, de cada espécie, foram submetidas ao ensaio de MOE módulo de elasticidade e MOR – módulo de ruptura e as vigas coladas, flexão estática.

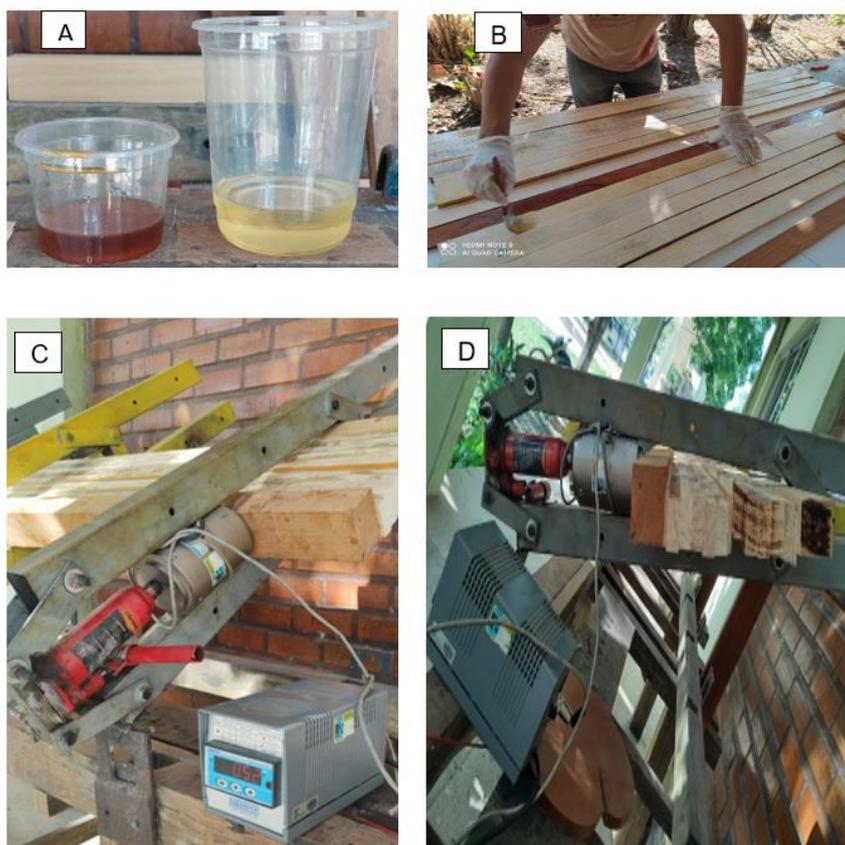
As lamelas das espécies selecionadas para a produção da viga de MLC, foram produzidas em uma marcenaria e depois levadas a câmara de aclimatação com umidade e temperatura controlados, com umidade de 60% ($\pm 5\%$) e temperatura de ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$), até a obtenção de constância de umidade em 12%

Obteve-se as dimensões dos elementos estruturais com uma trena e um paquímetro.

Em seguida aplicou-se o adesivo sobre uma das faces das lamelas, com gramaturas de 200 g/m² para os adesivos PU e PVAc, de acordo com a recomendação dos fabricantes, depois de unidas as lamelas formaram uma viga com dimensões de 50 x 100 x 1400 mm, que foram prensadas aplicando-se uma carga de

0,8 MPa para madeiras leves e 1,20 MPa para madeiras médias e pesadas, a figura 11 mostra o adesivo a ser dosado (a), o procedimento de colagem das lamelas (b) e a viga posicionada (c) na prensa onde foram produzidas. Passado 48 horas na prensa as vigas foram retiradas e levadas à sala de aclimatação permanecendo por 72 horas à umidade 60% ($\pm 5\%$) e temperatura de ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$) $^{\circ}\text{C}$.

Figura 11- Adesivo PU pronto para a mistura (A), colagem das lamelas (B), vigas posicionadas para a prensagem (C e D)



Fonte: Autoria própria.

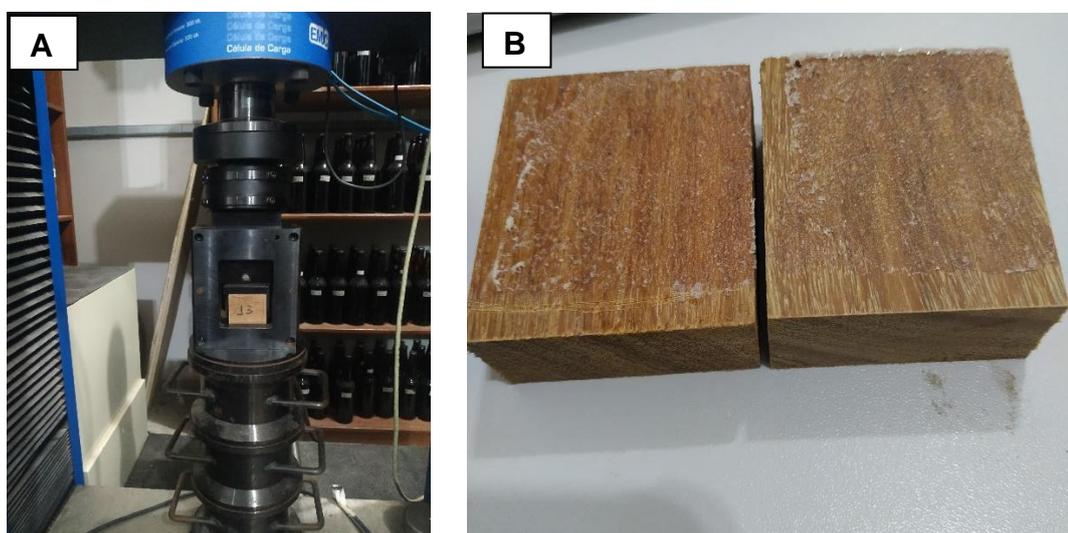
3.3 Ensaio

Os ensaios foram realizados no LTM - Laboratório de Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA na cidade de Santarém e no LED – Laboratório de Engenharia e Edificações do IFPA – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará – campus Santarém.

3.3.1. Ensaio de cisalhamento na linha de cola, paralelo às Fibras e cisalhamento de testemunha de madeira maciça

Para a realização dos ensaios mecânicos, foi utilizada uma máquina universal EMIC® com atuador servo hidráulico de capacidade de 300 kN e com sistema de aquisição de dados totalmente informatizado. Os procedimentos de ensaios foram executados de acordo com a norma ASTM D143 - Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, a figura 12 mostra os ensaios de cisalhamento das peças coladas (a) e depois de rompidas (b).

Figura 12 – Corpos de prova no ensaio de cisalhamento a), corpo de prova rompido.



Fonte: Autoria própria

Depois de rompidos, os corpos de prova das amostras coladas foram observados qualitativamente, estimando-se o tipo de ruptura na linha de cola definindo seus percentuais, seguindo o procedimento proposto por Calil (2011).

A eficiência de colagem foi calculada pela razão da resistência ao cisalhamento colado com a média da resistência da madeira de controle (testemunha), multiplicando-se o valor por 100 para obtenção da porcentagem.

No quadro 01 está o planejamento da confecção dos corpos de prova necessários para a realização da pesquisa.

Quadro 1 – Planejamento dos ensaios de cisalhamento.

Números Espécies	Tipo de adesivo	Tipo de ensaio	Quantidade	Total
10	PVAc	Cisalhamento	20	1000
	EPI		20	
	PUR		20	
	PU		20	
	Testemunha		20	
Total			1000	

Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Ensaio de delaminação durante a exposição acelerada

Os ensaios de delaminação durante exposição acelerada foram executados de acordo com recomendações da norma NBR 7190-6-2022. No quadro 02 é apresentado um breve resumo dos procedimentos de ensaio.

Quadro 2 – Resumo dos procedimentos adotados no ensaio.

Descrição normativa	Uso do adesivo	Método aplicado	Delaminação máxima permitida	
			Coníferas	Folhosas
NBR 7190-06-2022	Interior	1) Submersão das amostras em água a temperatura ambiente; 2) Extrair o ar (gerar um vácuo) entre 70 kPa e 85 kPa e manter durante 30 min. 2) Retirar o vácuo e inserir uma pressão entre 500 kPa e 600 kPa e manter durante 2 h (Este ciclo de vácuo e pressão deve ser repetido, de maneira que no total o processo dos dois ciclos de vácuo e pressão alcancem aproximadamente 5 h.) 3) Secam-se os corpos de prova durante 90 h na câmara climatizadora regulada a uma temperatura entre 25 °C e 35 °C, a uma umidade relativa entre 25 % e 35 % e a uma velocidade do ar circulante entre 2 m/s e 3m/s.	8%	10%
	Externo	1) Os corpos de prova devem ser colocados na autoclave e introduzir água a uma temperatura compreendida entre 10 °C e 20 °C até que os corpos de prova estejam totalmente submersos. (Os	4%	6%

		corpos de prova devem ser separados de modo que todas as seções transversais estejam livremente expostas à água.) 2) Extrair o ar (gerar um vácuo) entre 70 kPa e 85 kPa e manter durante 30 min. 3) Retirar o vácuo e inserir uma pressão entre 500 kPa e 600 kPa durante 2 h. 3) Secam-se os corpos de prova entre 10 h a 15 h na câmara climatizadora regulada a uma temperatura entre 65 °C e 75 °C, a uma umidade relativa entre 8 % e 10 % e a uma velocidade do ar circulante entre 2 m/s e 3 m/s.		
	Externo protegido	Idem procedimento para uso externo	6%	8%

Fonte: Autoria própria.

O planejamento dos ensaios é apresentado na tabela no quadro 03, foram ensaiados 640 CPs no total

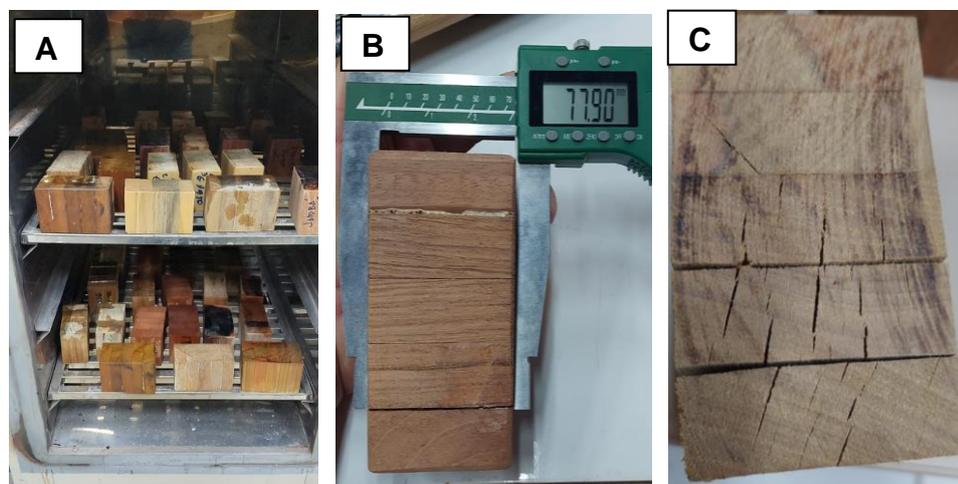
Quadro 3 - Planejamento do número de CPS, sendo: espécie x Adesivo x quantidade.

Números Espécies	Tipo de adesivo	Tipo de ensaio	Quantidade	Total
10	PVAc	delaminação	16	640
	EPI		16	
	PUR		16	
	PU		16	
Total			640	

Fonte: Autoria própria.

Após a execução dos ciclos de vácuo/pressão, os CPs foram levados à estufa com umidade e velocidade do ar controlada figura 13 (a). A massa de cada corpo de prova foi determinada com precisão de 1 g. na sequência os CPs foram pesados para a obtenção de sua massa final com precisão de 1 g. em seguida o comprimento aberto da somatória das linhas de cola das duas faces analisadas foi determinado utilizando um paquímetro digital (b), a figura (c) mostra a delaminação em um corpo de prova.

Figura 13– A) estufa com umidade controlada. B) Medição da abertura de delaminação. C) corpo de prova delaminado.



Fonte: Autoria própria

A porcentagem de delaminação total (Dt) para cada corpo de prova é calculada mediante a seguinte equação:

$$Dt = \frac{La}{Lt} \cdot 100$$

eq. xx

onde

Dt - é a delaminação total, expressa em porcentagem (%);

La - é a somatória das larguras das juntas abertas ou delaminadas sobre as faces da seção transversal, expressa em milímetros (mm);

Lt - é a somatória das larguras de todas as linhas de cola em ambas as faces da seção transversal, expressa em milímetros (mm)

3.3.3 Ensaio de flexão estática em vigas de MLC.

O procedimento de ensaio utilizado na prensa EMIC, foi especificado de acordo com a norma ASTM D143 - Test Methods for Small Clear Specimens

O procedimento de ensaio utilizado na prensa EMIC, foi especificado de acordo com a norma ASTM D143 - Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, e as

dimensões das vigas foram adaptadas às condições de espaço na área de ensaio do equipamento, mantendo a relação do vão entre os apoios de 12 vezes a altura da mesma ($L/h > 12$).

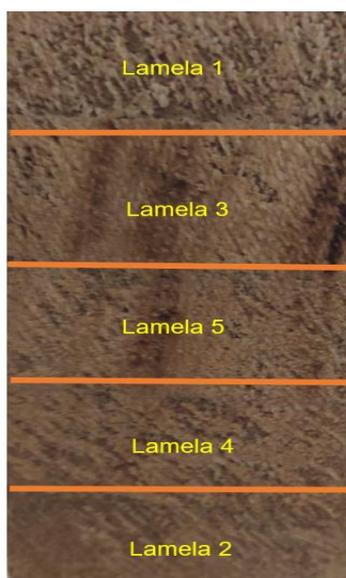
Foram ensaiadas as lâminas individuais, figura 14, selecionadas com o objetivo de se obter o MOE - (E_{m0}) e posicionar nas extremidades as que apresentaram maiores valores onde: $L1 > L2 > L3 > L4 > L5$, conforme esquema mostrado na figura 15, de acordo com proposição de PARRA (2013).

Figura 14 – Lamela individual instrumentalizada com extensômetros para a execução do ensaio de flexão para obtenção do MOE.



Fonte: Autoria própria

Figura 15 – Sequência de lamelas para montagem das vigas de MLC.



Fonte: Autoria própria.

Com os valores obtidos, os MOE (E_{m0}) das vigas foram determinados pela Equação

$$MOE = \frac{23}{108} \cdot \left(\frac{L}{b}\right)^3 \cdot \left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right) \cdot \frac{1}{d}$$

eq. xx

Sendo

MOE: módulo de elasticidade, em MPa,

ΔF : variação da força entre a primeira e a última medida da flecha, em N,

L: comprimento do vão livre da viga, em m, d: base da seção transversal, em m,

b: altura da seção transversal, em m,

Δe : diferença entre a flecha final e a inicial, em m.

Após as leituras das flechas, uma força gradativa foi aplicada até o rompimento das vigas, figura 16, e os MORs foram calculados pela a Equação xx. Além disso, os modos de ruptura desses elementos estruturais foram também registrados.

$$MOR = \frac{F_{ult} \cdot L}{d \cdot b^2}$$

eq. (XX)

No qual,

MOR: módulo de ruptura, em MPa,

F_{ult} : força de ruptura, em N,

L: comprimento do vão livre da viga, em m,

d: base da seção transversal, em m,

b: altura da seção transversal, em m.

Figura 16 - Viga colada da espécie *Hymenaea courbaril* – Jatobá, no ensaio de MOE (A) e no MOR (B)



fonte: Autoria própria

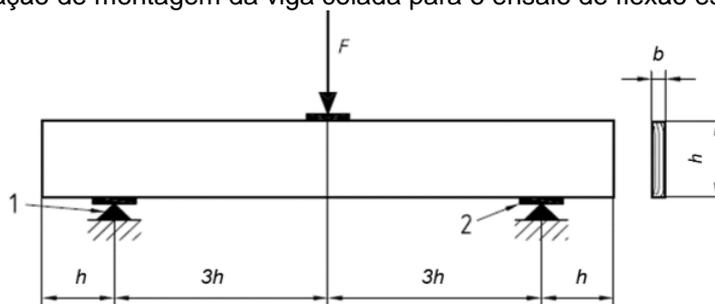
Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de acordo com a norma NBR 7190-4:2022.

A configuração do ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras foi executado conforme mostrada na Figura 17. A força F é aumentada até F_{rupt} , valor no qual ocorre a ruptura no corpo de prova. A resistência ao cisalhamento (f_v) deve ser calculada a partir da equação xx

$$f_v = \frac{0,75F_{rupt}}{bh}$$

A equação anterior fornece o valor nominal da resistência ao cisalhamento de uma viga, dando uma descrição normalizada da capacidade da viga.

Figura 17 – Configuração de montagem da viga colada para o ensaio de flexão estática de 3 pontos.



Fonte: NBR7190-4:2022

A análise dos resultados do módulo de ruptura (MOR), será de acordo com norma ASTM 5572-95(2019) - Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products.

3.3.4 Planejamento estatístico

Para verificar se os dados atendem às prerrogativas teóricas do teste paramétrico, distribuição normal e homogeneidade de variâncias, foram realizados os testes Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Caso os dados atendam os pressupostos, a comparação de médias foi feita utilizando a análise de variâncias seguida do teste de Tukey. No caso de rejeição de um dos pressupostos ($\alpha = 0.05$) adotou-se o teste de Kruskal Wallis. A comparação das variâncias dos tratamentos colados em relação à testemunha foi realizada com o teste - F ($\alpha = 0.05$).

A comparação do tipo de ruptura com a eficiência de cada adesivo em relação à madeira de referência foi realizada por modelos lineares, utilizando como dados de entrada as médias para cada adesivo e madeira. A análise estatística, bem como a confecção dos gráficos, foi realizada utilizando o software R (R Development core Team 2021).

4 RESULTADOS

4.1 Resistencia ao cisalhamento na linha de cola

Os resultados médios de resistência ao cisalhamento dos MLC avaliados podem ser observados na Tabela 04, de acordo com as classes de densidade (tabela 03).

Tabela 4 – Propriedades físicas e mecânicas das espécies da classe D18.

Espécie	U (%)	Densidade Básica (g/cm³)	f(v)
<i>Jacarandá sp.</i>	12	0,31	6,21
<i>Cedrela fissilis.</i>		0,39	7,13
<i>Cordia goeldiana Huber</i>		0,48	10,8
<i>Simarouba amara Aubl.</i>		0,50	6,39

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – Propriedades físicas e mecânicas das espécies das classes D40 e D50.

Espécie	U (%)	Densidade Básica (g/cm³)	f(v)
<i>Couratari sp.</i>	12	0,61	13,32
Mezilaurus Itaúba		0,68	7,37

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Propriedades física e mecânica das espécies das classes D60.

Espécie	U (%)	Densidade Básica (g/cm³)	f(v) MPa
<i>Hymenaea courbaril</i>	12	0,80	17,70
<i>Euxylophora paraensis Huber.</i>		0,80	15,96
<i>Astronium lecointei</i>		0,81	10,44

Fonte: Autoria própria.

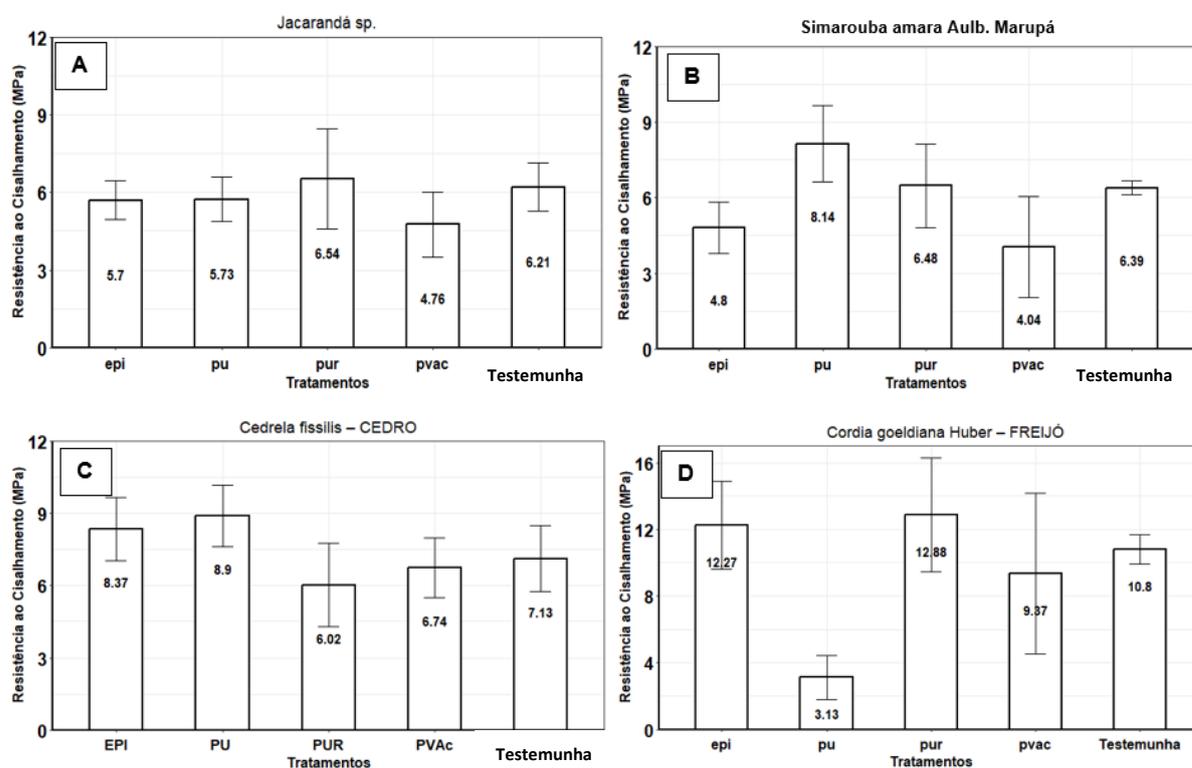
A espécie *Dipteryx odorata* faz parte do grupo D70 na NBR 7190:1/2022 para espécies com densidade básica de 0,9 a 1,08 g/cm³, a tabela 07 apresenta os valores de referência das propriedades física e mecânica da espécie.

Tabela 7 – Propriedades física e mecânica da classe D70.

Espécie	U (%)	Densidade Básica (g/cm³)	f(v) MPa
<i>Dipteryx odorata.</i>	12	0,91	15,12

Fonte: Autoria própria.

Figura 18 - Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle (testemunha), para as espécies do grupo D18, Letras iguais indicam semelhança estatística.



Fonte: Autoria própria.

Quanto aos ensaios de cisalhamento paralelo às fibras de MLC, observa-se que para *Jacaranda* sp. (Parapará) apenas o adesivo PUR, dentre os testados, apresentou valores de resistência ao cisalhamento superiores a amostra controle (testemunha), (Tabela 08 e Figura 18A). Os adesivos EPI e PVAc tiveram valores significativamente inferiores a madeira controle, com queda de 23% para o adesivo PVAc.

Para a madeira de *Simarouba amara* Aubl. (Marupá), observa-se que o tratamento com adesivo PU apresentou valores maiores que a testemunha, com resultados superiores a 27%. Já os adesivos EPI e PVAc obtiveram valores menores que a testemunha (Tabela 08, Figura 18B).

Quando avaliado o MLC de *Cedrela fissilis*, observa-se que o adesivo PU e EPI apresentam ganhos significativos (>20%) em termos de aumento de resistência ao cisalhamento para esta madeira (Tabela 08 e Figura 18C).

Para madeira de *Cordia goeldiana* Huber observa-se que os adesivos EPI e PUR são os mais resistentes, em média 16% superiores à testemunha, enquanto PU

apresentou uma diminuição significativa da resistência ao cisalhamento e PVAc não difere estatisticamente da testemunha (Tabela 08 e Figura 18D).

Tabela 8 - Resistência ao cisalhamento de MLC de espécies amazônicas confeccionada com diferentes adesivos comparado à madeira in natura (testemunha).

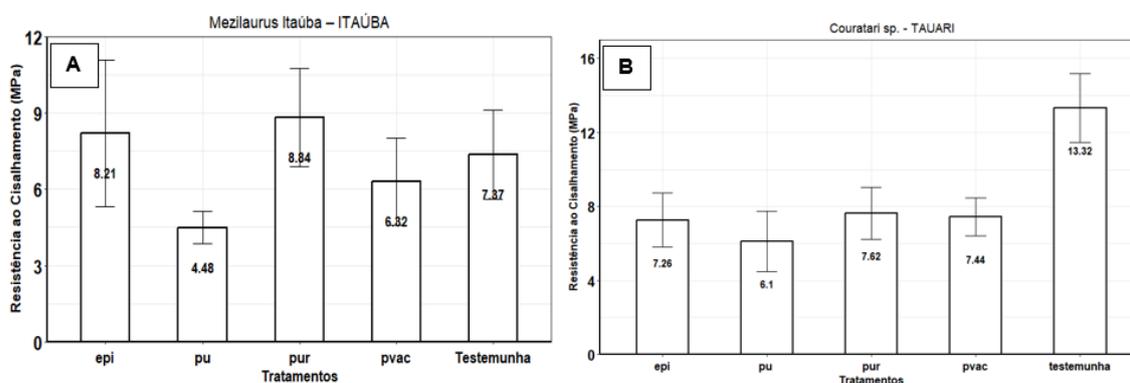
Tipo de adesivo	Medidas resumo	Espécies									
		Jacaranda sp.	Simarouba amara Aubl.	Hymenaea courbaril	Cordia goeldiana Huber	Dipteryx odorata	Astronium lecoitei	Mezilaurus Itauba	Cedrela fissilis	Euxylophora paraensis Huber	Couratari sp.
EPI	Média	5,70	4,80	13,38	12,27	8,07	8,86	8,21	8,37	13,46	7,26
	EP	0,15	0,34	0,34	0,49	0,92	0,54	0,43	0,20	0,76	0,45
	CV(%)	12,50	40,18	11,13	18,54	55,78	26,84	22,75	10,34	25,62	20,20
PVAc	Média	4,76	4,04	18,44	9,37	5,76	8,52	6,82	6,74	16,37	7,44
	EP	0,24	0,13	0,51	0,78	0,88	0,42	0,35	0,32	0,76	0,77
	CV(%)	22,86	12,42	12,69	38,42	67,51	22,69	23,25	22,88	20,84	29,97
PUR	Média	6,54	6,48	17,57	12,88	10,70	8,60	8,84	6,02	13,39	7,62
	EP	0,28	0,49	0,50	0,52	0,77	0,65	0,15	0,27	0,82	0,72
	CV(%)	19,38	36,2	12,80	17,67	32,64	37,23	7,47	18,00	26,10	25,36
Pu	Média	5,73	8,14	6,84	3,13	3,24	3,16	4,48	8,90	3,69	6,10
	EP	0,12	0,21	0,28	0,19	0,24	0,29	0,15	0,19	0,34	0,44
	CV(%)	9,14	12,09	16,92	24,24	33,93	40,64	15,16	9,61	39,97	33,46
Testemunha	Média	6,21	6,39	17,70	10,80	15,12	10,41	7,87	7,13	15,96	13,32
	EP	0,12	0,08	0,34	0,25	0,62	0,71	0,34	0,26	0,23	0,21
	CV(%)	8,02	5,47	8,38	11,04	18,14	32,31	20,69	15,35	6,53	7,71

Fonte: Autoria própria.

O MLC de madeira de *Mezilaurus Itauba* teve ganhos quando utilizado os adesivos EPI e PUR, de aproximadamente 10% em média. Novamente, o adesivo PU diminuiu de forma significativa (40%) os valores de resistência ao cisalhamento (Tabela 08 e Figura 19A).

Para MLC de *Couratari* sp. observa-se também que não há efeito significativo do adesivo utilizado, sendo que todos apresentaram diminuição em relação a resistência natural da madeira (Tabela 08 e Figura 19B).

Figura 19 - Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle (testemunha). Letras iguais indicam semelhança estatística.



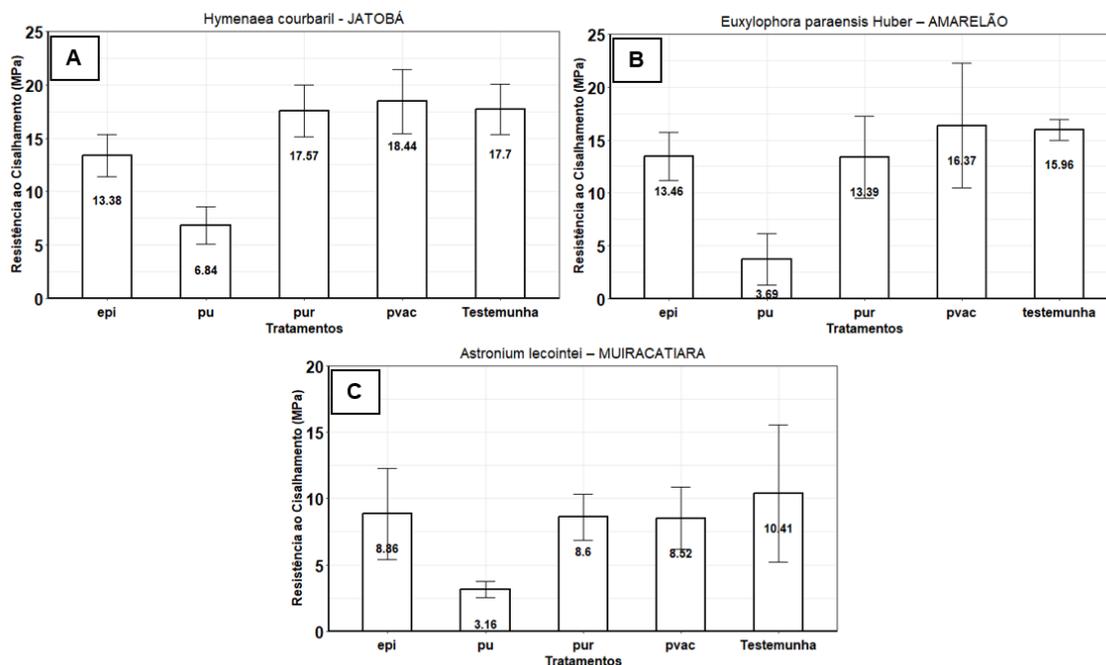
Fonte: Autoria própria.

Para madeira de *Hymenaea courbaril* observa-se que os adesivos EPI e PU diminuíram a resistência natural da madeira, sendo que nenhum adesivo testado apresentou ganhos significativos na melhoria da resistência ao cisalhamento (Tabela 08 e Figura 20A).

A MLC de *Euxylophora paraensis* Huber apresentou resultado positivo para o adesivo PVAc acima dos valores de referência da testemunha, sendo que novamente o tratamento com PU teve diminuição significativa quando comparado aos demais (Tabela 08 e Figura 20B).

Para madeira de *Astronium lecointei*, observou-se que o adesivo PU também apresentou os menores resultados, ficando 78% abaixo do valor médio de resistência do controle. Os demais tratamentos não apresentaram ganhos significativos (Tabela 08 e Figura 20C).

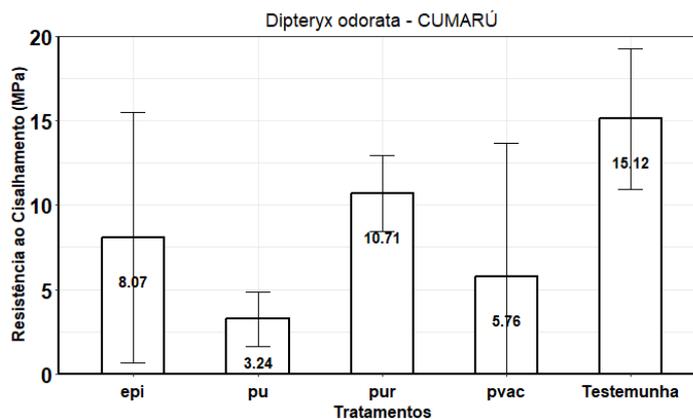
Figura 20 - Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle (testemunha) do grupo D60. Letras iguais indicam semelhança estatística.



Fonte: Autoria própria.

Para madeira de *Dipteryx odorata* todos os tratamentos avaliados diminuíram a resistência ao cisalhamento, principalmente quando utilizado adesivo PU que resultou em diminuição de 80% da resistência da madeira (Tabela 08 e Figura 21).

Figura 21 - Efeito do adesivo na tensão de ruptura média de cisalhamento na linha cola quando comparado a madeira controle (testemunha) do grupo D60. Letras iguais indicam semelhança estatística.



Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Interação tratamento x espécie

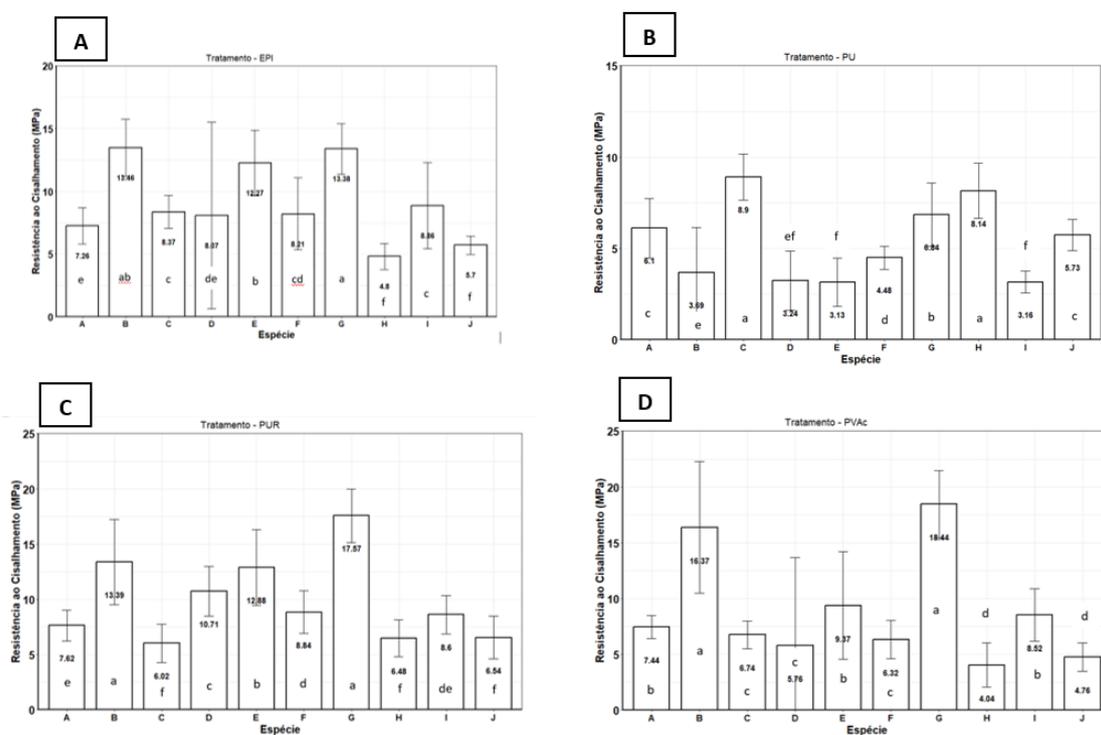
Para o tratamento EPI (figura 22A), as espécies que apresentaram maiores resistências ao cisalhamento na linha de cola foram *Cedrela fissilis* 13,46 MPa e *Hymenaea courbaril* 13,38 MPa.

Para o tratamento PU (figura 22B), a espécie que obteve maiores resultados no geral, foi a *Cedrela fissilis* 8,90 MPa seguido de *Simarouba amara* Aubl. 8,14 MPa.

Para o tratamento PUR (figura 22C), as maiores resistências obtidas foram para *Hymenaea courbaril* 17,57 MPa, *Euxylophora paraensis* 12,46 MPa e *Cordia goeldiana* Huber 12,27 MPa.

Para o tratamento PVAc (figura 22D), os melhores resultados de resistência foram para a espécie *Hymenaea courbaril* 18,44 MPa e *Simarouba amara* Aubl. 16,37 MPa.

Figura 22 - Tratamento x espécie – comparação entre resistências ao cisalhamento f(v).



Fonte: Autoria própria.

Onde:

A - *Couratari tauari* sp.

B - *Euxylophora paraensis*

- C - *Cedrela fissilis*
- D - *Dipteryx odorata*
- E - *Cordia goeldiana* Huber
- F - *Mezilaurus itauba*.
- G - *Hymenaea courbaril*
- H - *Simarouba amara* Aubl.
- I - *Astronium lecointei*
- J - *Jacaranda* sp.

4.2 Tipos de ruptura em função do adesivo utilizado

Verificou-se ainda os resultados do tipo de ruptura, por tratamento, mostrando a ruptura na madeira ou no adesivo (Figura 23 e Figura 24). A frequência da falha na madeira de *Jacaranda* sp. (Figura 23A) foi superior nos corpos de prova colados com os tratamentos PU e PUR com 100% de ruptura na madeira.

Para a espécie *Simarouba amara* (Figura 23B), observa-se que os adesivos PU e PUR obtiveram os melhores resultados, com ruptura na madeira próximos a 100%.

Na MLC de *Hymenaea courbaril* (Figura 23C) observa-se que nenhum adesivo teve percentual de falhas na madeira considerado adequado, o que indica problemas no processo de colagem e que a colagem em si não melhora as propriedades de resistência da madeira na sua condição natural.

Para madeira de *Cordia goeldiana* (Figura 23D) verificou-se que o tratamento mais eficiente foi o EPI com aproximadamente 90% de ruptura na madeira, os tratamentos PUR e PVAc apresentaram valores estatisticamente iguais, a exceção do adesivo PU que apresentou 100% de ruptura na linha de cola.

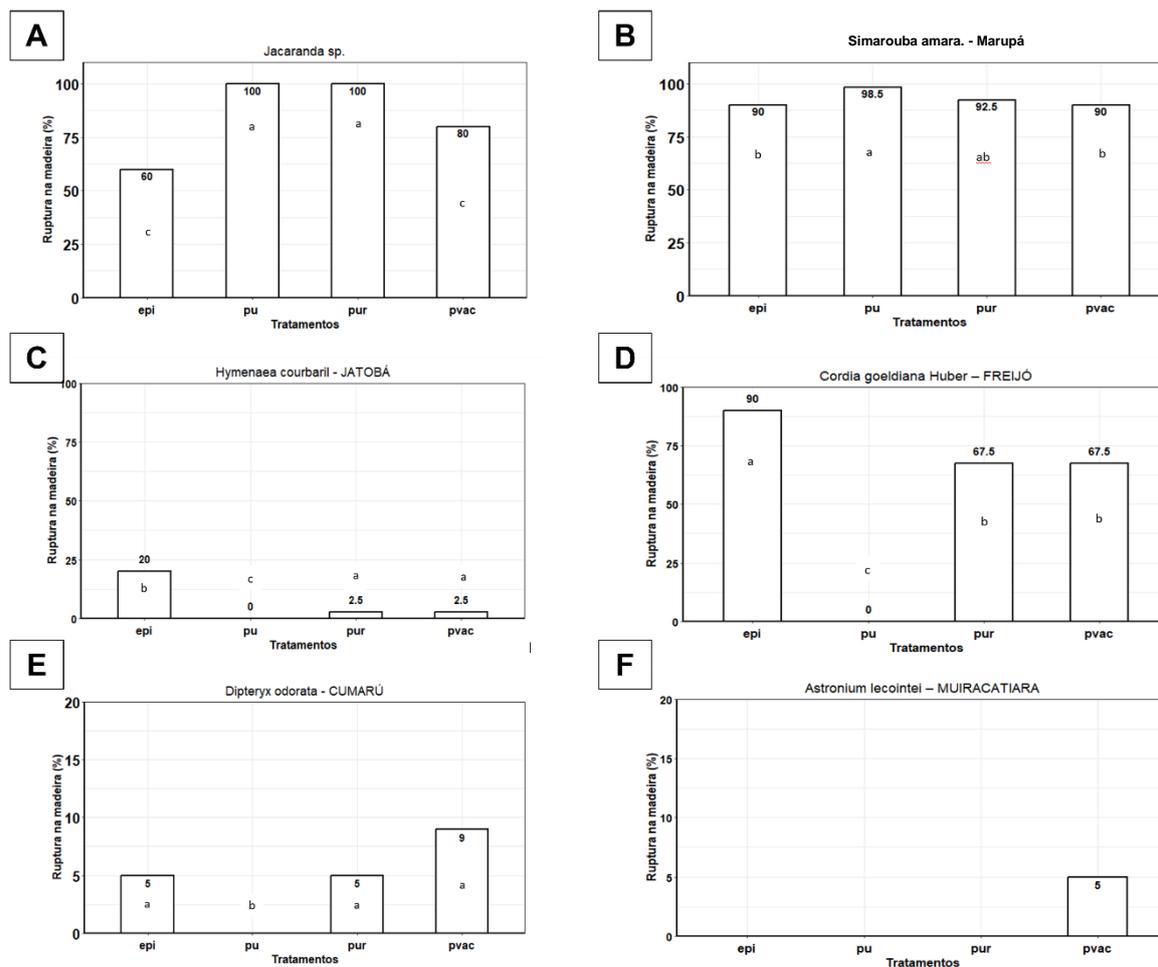
A MLC de *Dipteryx odorata* (Figura 23E), de *Astronium lecointei* (Figura 23F) e de *Mezilaurus Itauba* (Figura 24A) apresentaram percentual de falhas na madeira muito baixas, sendo que todos os adesivos tiveram de 90 a 100% de falhas na linha de cola, indicativo de uma deficiência de adesão.

Para *Cedrela fissilis* (Figura 24B), todos os adesivos tiveram % maiores que 98 de rupturas na madeira, o que representa excelente qualidade no processo de adesão. Já para madeira de *Euxylophora paraenses* (Figura 24C) somente PVAc

teve valores acima de 75% de ruptura na madeira, sendo que os demais tiveram valores abaixo de 20%.

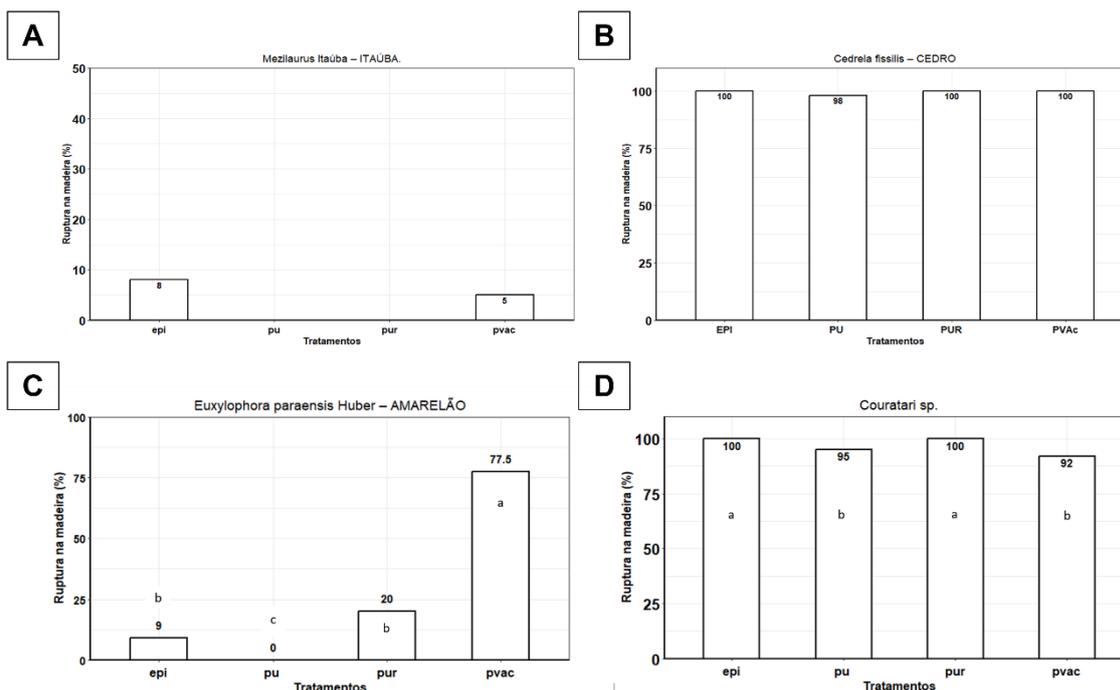
Resultado semelhante foi observado para madeira de *Couratari* sp. (Figura 24D), com valores acima de 90% para todos os adesivos, chegando a 100% para EPI e PUR.

Figura 23 - Tipos de ruptura em função do adesivo utilizado



Fonte: Autoria própria.

Figura 24 - Tipos de ruptura em função do adesivo utilizado



Fonte: Autoria própria.

4.3 Eficiência de colagem em função do adesivo utilizado

Para madeira de *Jacaranda* sp. o tratamento PUR foi o mais eficiente com 5,31% acima da média da testemunha (Tabela 9), EPI e PU ficaram em média 10 % abaixo dos resultados da testemunha. Para espécie *Simarouba amara*., os adesivos PU e PUR foram os mais eficientes ficando acima da média da testemunha e o adesivo PVAc teve o menor desempenho. No MLC de *Hymenaea courbaril*, PVAc foi o mais eficiente alcançando valores acima da média em mais de 4%, PUR apresentou eficiência próxima a média da testemunha com menos de 1% abaixo. Para *Cordia goeldiana* Huber, os adesivos EPI e PUR apresentaram taxas de eficiência de colagem acima da média da testemunha em aproximadamente 15%, PU apresentou resultados muito baixos. Na MLC de *Dipteryx odorata* nenhum dos adesivos utilizados atingiu a média da testemunha, todos com baixa eficiência de colagem, idem para o MLC de *Astronium lecointei*. Para *Mezilaurus Itauba*, os adesivos EPI e PUR ultrapassaram a média em 4% e 12%, PU foi o menos eficiente. No MLC de *Cedrela fissilis*, EPI e PU ultrapassaram

a média da testemunha e aproximadamente 20%, os demais ficando abaixo. Para *Euxylophora paraensis* Huber, o adesivo mais eficiente foi PVAc com percentual de 2,55% acima da média. A espécie *Couratari* sp. todos os tratamentos ficaram abaixo da média da testemunha.

Tabela 9 - Eficiência (%) de colagem de MLC de espécies amazônicas confeccionado com diferentes adesivos comparado a madeira in natura (Testemunha).

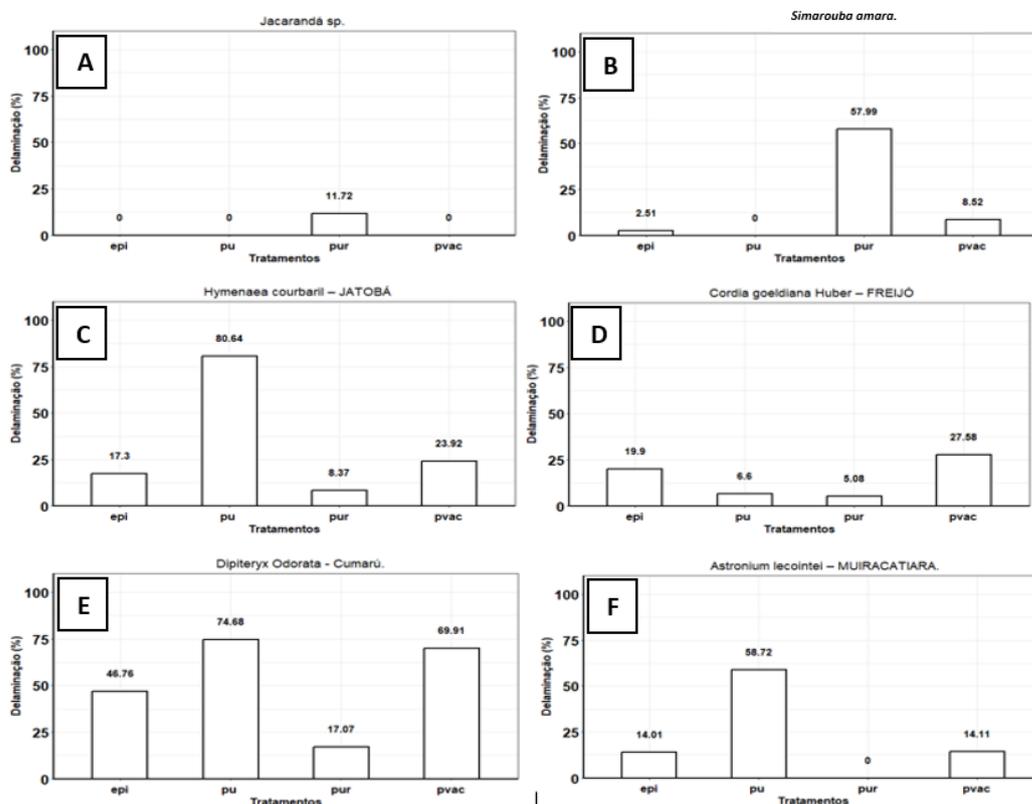
		Espécies									
Tipo de adesivo	Eficiência de tratamento (%)	<i>Jacaranda</i> sp.	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	<i>Dipteryx odorata</i>	<i>Astronium lecointei</i>	<i>Mezilaurus itauba</i>	<i>Cedrela fissilis</i>	<i>Euxylophora paraensis</i> Huber	<i>Couratari</i> sp.
EPI	Média	91,79	75,12	75,59	113,61	53,37	85,11	104,32	117,39	84,34	54,50
PU		92,27	127,39	38,64	28,98	18,31	17,85	56,93	124,82	23,12	45,80
PUR		105,31	101,41	99,27	119,26	58,59	48,59	112,33	84,43	83,9	57,21
PVAc		76,65	63,22	104,18	86,76	32,54	48,14	86,66	94,53	102,57	55,86

Fonte: Autoria própria.

4.4 MLC de espécie da classe de densidade D70

No ensaio de delaminação os resultados para o MLC da espécie *Jacaranda sp.* são apresentados na (figura 25A), os tratamentos EPI, PU e PVAc obtiveram resultados de 100% de eficiência, já para o adesivo PUR, a delaminação foi de 11,72%. Para a MLC da espécie *Simarouba amara.* a delaminação, (figura 25B), para os tratamentos EPI, PU, o PVAc ficaram abaixo de 9%, PUR delaminou mais de 50% das amostras ensaiadas. No ensaio da espécie *Hymenaea courbaril* (figura 24C), o adesivo PUR obteve 8,37% de resultado os demais apresentaram resultados acima de 15% de delaminação. Para *Cordia goeldiana huber* (figura 24D), os tratamentos PUR e PU apresentaram resultados abaixo de 6,5%, PVAc e EPI apresentaram resultados em média acima de 20% de delaminação. Para *Dipiteryx odorata* (figura 25E), nenhum dos tratamentos obteve resultados que abaixo de 10%. No MLC para a espécie *Astronium lecointei* (figura 25F), os tratamentos EPI, PU, e PUR não delaminaram, PVAc apresentou apenas 5% de delaminação.

Figura 25 - Resultados de ensaios de Exposição acelerada – Delaminação.



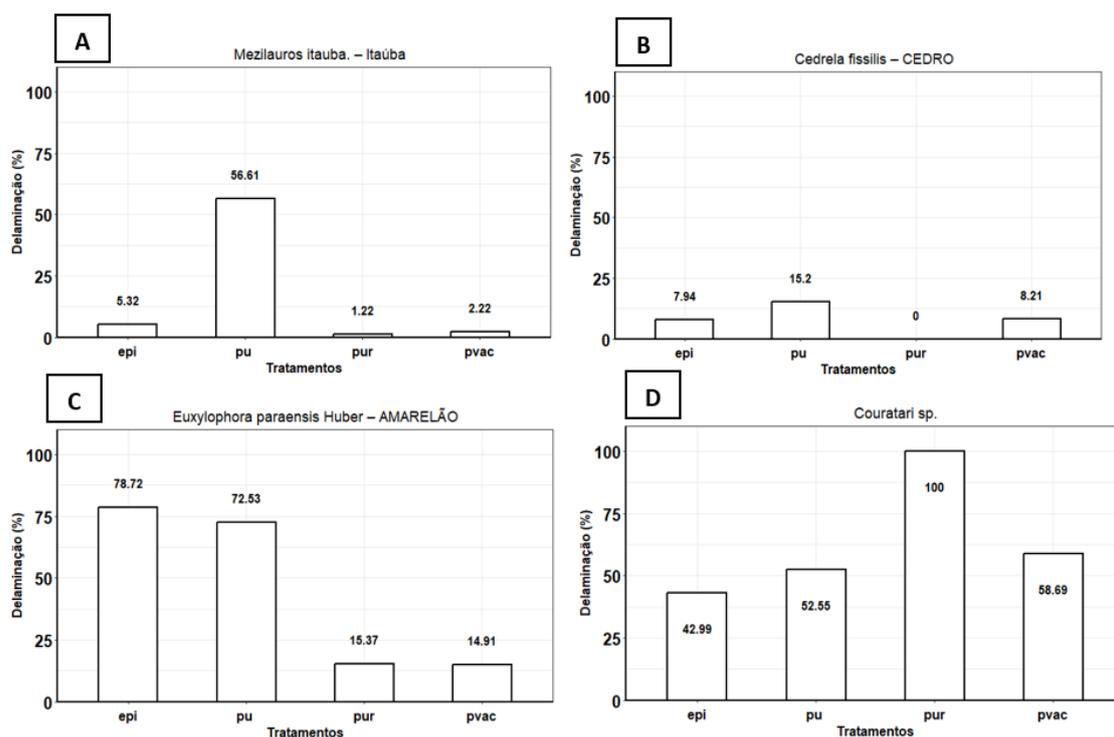
Autoria própria.

Fonte:

Para o MLC da espécie *Mezilauros itaúba* (figura 26A), Nos ensaios de delaminação todos os tratamentos apresentaram valores abaixo de 8%. Para a espécie *Cedrela fissillis* (figura 26B), os tratamentos EPI, PUR e PVAc obtiveram resultados com percentuais abaixo de 8%, PU extrapolou os 15% de delaminação. Para a MLC de *Euxylophora paraensis huber* (figura 26C), delaminaram acima de 14% e o MLC da espécie *Couratari sp.* delaminaram acima de 40%.

A tabela 10 apresenta um resumo de quais conjuntos espécie / tratamento são indicados para qual tipo de utilização de acordo com os limites permitidos de delaminação para cada ambiente de exposição da NBR 7190:6/2022.

Figura 26 - Resultados de ensaios de Exposição acelerada – Delaminação.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 – Espécies que atenderam os limites de delaminação nos ensaios de exposição acelerada, em conjunto com os tratamentos estudados.

Espécie	Tratamento							
	EPI		PU		PVAc		PUR	
	Aplicação							
	interno	externo	interno	externo	interno	externo	interno	externo
<i>Jacaranda sp.</i>	x	x	x	x	x			
<i>Cedrela fissilis</i>	x	x			x	x	x	x
<i>Cordia goeldiana Huber</i>			x	x			x	x
<i>Couratari tauarí</i>								
<i>Imarouba amara Aubl.</i>	x	x	x	x	x	x		
<i>Mezilaurus itaúba.</i>	x	x			x	x	x	x
<i>Hymenaea courbaril</i>							x	x
<i>Euxylophora paraensis</i>								
<i>Astronomium lecointei</i>							x	x
<i>Dipteryx odorata</i>								

Fonte: Autoria própria.

4.5 Resistencia a flexão estática para MLC de madeiras amazônicas com diferentes adesivos.

No ensaio de flexão estática, a viga de MLC da espécie *Jacaranda sp.* apresentou o MOR – módulo de ruptura de 3.819,05 MPa e o valor de resistência à flexão (f_M) 18.34 MPa, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras f_v igual a 7,58 GPa (Tabela 11).

A viga da espécie *Simarouba - amara Aubl.* (Tabela 11), apresentou o MOR- módulo de ruptura de 6.396.69 MPa e o valor de resistência à flexão (f_M) 23.89 MPa, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras f_v igual a 9,13 GPa.

A viga da espécie *Hymenaea courbaril* (Tabela 11), apresentou o MOR- módulo de ruptura de 11.689,74 MPa e o valor de resistência à flexão (f_M) 114,82 MPa e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras f_v igual a 4,97 GPa.

Tabela 11 – ensaios de flexão estática em lamelas individuais de vigas de MLC para 03 (três) espécies de madeiras amazônicas.

Ensaio						
Espécies	MOE	MOR	MOR	Tensão ruptura	Tensão de cisalhamento	Classe de densidade
	Lamelas individuais (MPa)	Lamelas individuais (MPa)	Viga MLC (MPa)	f(M) (MPa)	f(v) (GPa)	NBR-7190:1
<i>Jacaranda sp.</i>	6.652,06	6.850,51	3.819,05	18,34	7,58	D18
<i>Simarouba – amara.</i>	6.758,69	6.396,04	6.308,50	23,89	9,13	D24
<i>Hymenaea courbaril</i>	25.729,52	11.689,74	11.689,74	114,82	4,97	D60

Fonte: Autoria própria.

5 DISCURSSÕES

5.1 MLC de espécies da classe de densidade D18.

Calil Neto (2011), ao trabalhar com espécies com densidades próximas às espécies do grupo D18, obteve valores de $f(v) = 5,60$ MPa, ao trabalhar com a espécie *Pinus taeda*, densidade de $0,42$ g/cm³.

Em paralelo, Almeida (2012), ao estudar a espécie amazônica *Schizolobium amazonicum* Herb - Paricá, densidade $0,37$ g/cm³, obteve valores de $f(v) = 4,75$ MPa superando em resistência apenas o tratamento PU, obtido na espécie *Cordia Goeldiana* Huber $f(v) = 3,13$ MPa.

Desta forma, verificou-se que, mesmo possuindo uma densidade menor quando comparada a outras espécies tradicionalmente utilizadas para madeira lamelada colada, as quatro espécies apresentam valores semelhantes ou superiores aos encontrados em literatura, demonstrando assim boa formação / adesão da linha de cola com os adesivos estudados, taxas de delaminação que permitem sua utilização com os limites impostos pela NBR 7190:6/2022. O adesivo PUR apresentou os melhores resultados para a espécie *Jacarandá sp.* e *Cordia goeldiana* Huber em quatro análises realizadas, sendo: Resistência ao cisalhamento $f_v = 6,54 / 12,88$ MPa, $ruptMad = 100\% / 67,5\%$ e 100% na espécie *Cedrela fissilis*, e eficiência de colagem $efi = 105,3\%$ e $119,26\%$, indicando boa segurança na sua utilização no processo MLC.

O tratamento PU obteve melhores resistências ao cisalhamento para espécie *Simarouba amara* Aubl. e uma taxa de eficiência de colagem de acima dos 100% , a delaminação foi 0% .

No ensaio de exposição acelerada, para *Cedrela fissilis*, a delaminação atendeu os limites da norma para utilização em ambiente interno e externo em todos os tratamentos, exceto para o PU. Com a madeira de *Cordia goeldiana* Huber obteve-se índice para utilização em ambiente interno com os tratamentos PU e PUR. Para *Jacaranda sp.*, não foram atendidos os requisitos da norma apenas para o adesivo PUR, para os tratamentos EPI e PU os percentuais permitidos para exposição interna e/ou externa foram atendidos, com o tratamento PVAc apenas para uso interno. Já a madeira de *Simarouba amara* Aubl. Todos os tratamentos

foram positivos para utilização interna e externa, exceto o tratamento PUR, isto deve-se ao fato de que, embora o adesivo seja resistente à água, deve ser protegido das intempéries de acordo com recomendações do fabricante. Segundo Fiorelli (2005), a avaliação da eficiência dos adesivos, quando submetidos a variações de umidade, pressão e temperatura são de fundamental importância para garantir a integridade do elemento estrutural em MLC durante a vida útil da construção.

Quanto a análise de falha na madeira (ruptMad), o tratamento com PU à base de mamona, apresentou resultados muito variáveis de falha na madeira (0 a 100%) e uma boa eficiência de colagem apenas nas duas primeiras espécies (*Jacaranda sp.* e *Cedrela fissilis.*). MARRA (1992) ressalta que o percentual de falha na madeira entre 0% - 25% indica baixa resistência do adesivo e/ou deficiência no processo de colagem. Alguns fatores como superfície muito lisa, baixa gramatura aplicada e alta umidade na superfície podem prejudicar esse processo. Já valores entre 50% - 70% evidenciam uma situação mais adequada do processo de colagem e propriedades do adesivo, enquanto entre 75% e 100% as propriedades de adesão são mais fortes.

5.2 MLC de espécies da classe de densidade D40 e D50

Para as duas espécies deste grupo, O tratamento EPI apresentou os melhores resultados de resistência ao cisalhamento para a espécie *Mezilauros Itauba*; na análise do tipo de ruptura os resultados de falha na madeira foram de 8,0% indicando que mesmo com uma eficiência de colagem >100%, a madeira foi mais forte que o tratamento quando se analisa o tipo de ruptura.

No ensaio de delaminação, as taxas para espécie *Couratari sp.* foram elevadas, acima dos requisitos da norma. A madeira de *Mezilauros Itaúba* ficou dentro dos limites da norma NBR 7191:1/2022 para condições de exposição interna e externa. Com esses resultados optou-se por produzir uma viga de MLC para esta espécie/tratamento (Simarouba x PU), para a análise das propriedades mecânicas através do ensaio de flexão estática. Os resultados para as tensões de ruptura $f(M)$ e $f(v)$, ficaram acima dos valores de referência da norma, já o módulo elástico ficou abaixo (tabela 11).

Analisando o tratamento PUR, ele mostrou-se o mais eficiente, considerando os valores de resistência ao cisalhamento com a espécie *Mezilauros Itaúba*, com uma taxa de ruptura na madeira de 0% com uma eficiência de colagem >100%, delaminação baixa atendendo os requisitos de exposição interna e externa da NBR 7191:6/2022, a taxa de 0% de falha na madeira indica, para este conjunto, que a madeira é mais resistente que o adesivo.

O tratamento PVAc obteve os melhores resultados de resistência ao cisalhamento em combinação com a espécie *Couratari sp.*, taxa de ruptura na madeira elevada próxima a 100%, com uma eficiência de colagem de 55.86% e delaminação abaixo dos limites de utilização da norma NBR 7191:6/2022. A taxa de falha na madeira indica, para este conjunto, que o adesivo se mostrou mais resistente que a madeira.

Neste grupo podemos inferir que a espécie *Mezilaurus Itaúba.*, para todos os tratamentos, foi mais resistente que os mesmos.

5.3 MCL de espécies da classe de densidade D60

Para as Três espécies deste grupo, O tratamento PVAc apresentou melhores resultados individuais de resistência ao cisalhamento (tabela 11), para a espécie *Hymenaea courbaril*, eficiência de colagem foi superior a 100% em comparação com a testemunha. Na análise do tipo de ruptura ou falha na madeira, a espécie *Euxylophora paraensis Huber* apresentou taxas elevadas, indicando boa resistência da madeira na linha de cola. No ensaio de exposição acelerada, a delaminação extrapolou os limites impostos pela norma para aplicação tanto para utilização interna quanto externa para as três espécies.

O tratamento PU foi o menos eficiente dentre os quatro tratamentos para este grupo, os resultados de resistência ao cisalhamento ficaram abaixo dos valores de referência da testemunha, e no ensaio de exposição acelerada não obteve nenhum valor dentro dos limites da norma.

No tratamento EPI, para as espécies do grupo, foi determinado valores de eficiência de colagem acima de 75%, baixa taxa de ruptura na madeira, menor que 20% e taxas de delaminação acima dos limites da NBR 7191:6/2022. Este tratamento foi escolhido para a confecção de uma viga de MLC com a espécie

Hymenaea courbaril, devido disponibilidade de madeira e adesivo, e para verificar o comportamento mecânicas de uma espécie de alta densidade.

Quanto ao tratamento PUR, para as três espécies do grupo, obteve melhor resultados para *Hymenaea courbaril*, com eficiência de colagem próximo a 100% em relação a testemunha. A taxa de falha na madeira abaixo dos limites da norma, indica que a madeira é mais resistente que o adesivo, e no ensaio de exposição acelerada, a delaminação ficou abaixo do valor máximo, portanto, dentro do limite para utilização em ambiente interno, a espécie *Astronium lecointei* apresentou delaminação dentro do limite para utilização interno e externo, *Euxylophora paraensis* Huber. extrapolou os limites para as duas possibilidades de utilização.

5.4 MLC de espécie da classe de densidade D70

O tratamento PUR apresentou os melhores resultados de resistência ao cisalhamento em comparação com os demais tratamentos, ficando abaixo da resistência da testemunha com uma eficiência de colagem baixa, com taxa de falha na madeira baixa e delaminação acima dos limites recomendados pela norma, esses valores são explicados por Burger e Richter (1991), onde sugerem que madeiras de alta massa específica apresentam menor volume de espaços vazios para a penetração de adesivo líquido, acarretando na redução da resistência da ligação adesiva entre duas peças de madeira coladas.

5.5 Vigas de MLC

De acordo com a norma ASTM D5572 (2019) todos os corpos de prova submetidos ao ensaio de flexão, deveriam atingir um valor mínimo de 13,8 MPa em seu módulo de ruptura. As três vigas apresentaram resultados superiores em 33%, 73% e 830%, para *Simarouba* e *Hymenaea courbaril* respectivamente em comparação com o valor mínimo recomendada pela norma. Se comparada com os valores da norma NBR 7190:1/2022, a tensão de ruptura para *Jacaranda sp.* ficou 1,88% acima, *Simarouba* – 0,45% abaixo do valor de referência, e *Hymenaea courbaril* 91,36% acima do valor de referência.

6 CONCLUSÕES

Todos os tratamentos avaliados atenderam os padrões de resistência ao cisalhamento estabelecidos pela norma técnica EN 13353 (2008), demonstrando que espécies amazônicas tem potencial para serem usadas no processo produtivo de MLC, independente do adesivo utilizado;

As espécies com melhores índices de colagem foram *Cedrela fissilis*. em em todos os adesivos avaliados, *Jacaranda sp.* com os adesivos PU e PUR e *Couratari sp.* com EPI e PUR.

As espécies do grupo D18 tiveram os menores índices de delaminação, com melhor enquadramento na norma NBR 7190:6/2022;

As espécies que obtiveram maiores resistências ao cisalhamento na linha de cola foram *Hymenaea courbaril* e *Euxylophora paraensis*.

As vigas de MLC produzidas superam os requisitos mínimos de resistência estabelecidos pelas normas e são promissoras para utilização no processo.

7 RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para um melhor entendimento da interação adesivo/madeira, faz-se necessário um estudo da composição química e da anatomia das espécies.

REFERÊNCIAS

- ALBINO, V. C. S. et al. Estudo da interface madeira adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. 2010 **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 509-516, set. Disponível em: acesso em: 10 fev. 2023.
- ALBINO, V. C. S. et al. Estudo da interface madeira adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 509-516, set. 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/16467>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- ALBUQUERQUE, C.E.C et al. Referência varia de acordo com propriedades da madeira. **Revista da Madeira**, São Paulo. Ed. 88 março de 2005.
- ALMEIDA, D. H. et al. **Physical and mechanical properties of *Dipteryx odorata* (Aublet) Willd**, **Advanced Materials Research**. 2016. 1025-1026, 46-49. Disponível em: DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.46. Acesso em: 12 nov. 2022.
- ALMEIDA, D. H. et. al. Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Paricá. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS, 15, São Carlos, 2012. Anais. São Paulo, ICEM, CD-ROM.
- AMARAL, D. D. et. al Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais.** v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81142009000300002. Acesso em: 10 set. 2022.
- APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Structural composites lumber (SCL). 2019. Disponível em: <https://www.apawood.org/structural-composite-lumber>. Acesso em: 22 out. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:1**: Projeto de estruturas de madeira Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro. 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. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:4**: Projeto de estruturas de madeira Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais. Rio de Janeiro. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:6**: Projeto de estruturas de madeira Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural. Rio de Janeiro. 2022.

ASTM Standards. ASTM-D0905-08R21. Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. West Conshohocken: ASTM International; 2008.

ASTM Standards. ASTM-D0905-08R21. *Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading*. West Conshohocken: ASTM International; 2008.

ASTM Standards. ASTM-D143. *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. West Conshohocken: ASTM International; 2008.

AZAMBUJA, M. A. **Avaliação do adesivo poliuretano à base de mamona para fabricação e madeira laminada colada (MLC)**. 2002. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-11072017-151910/publico/Dissert_Azambuja_MaximilianoA_corrig.pdf. Acesso em: 22 nov. 2022.

AZAMBUJA, M. A.; DIAS, A. A. Eficiência do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona na colagem de emendas dentadas para as espécies Pinus e Eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., São Pedro, 2006. Anais... São Pedro: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2006. 1 CD ROM.

BATTISTI A. P. **Influência do ângulo de inserção na resistência ao arrancamento de parafuso autoatarraxante**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação e Engenharia Civil). Centro Tecnológico. Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182032/TCC_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 19 nov. 2022.

BIANCHI, Natália Andrade. **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 esem tratamento preservativo**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/192157/bianchi_na_me_guara.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 25 nov. 2022.

BILA, N. F., et. al. Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Revista Floresta**, v. 46, n. 4, 455-464. 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/36311>. Acesso em: 5 dez. 2022

BOURSCHEID, C. B. **Avaliação tecnológica de emendas por entalhes múltiplos reforçadas com fibras para madeira laminada colada**. 2017, 72 f. (Mestrado) Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências groveterinárias, Programa de Pós -Graduação em Engenharia Florestal. Disponível em: <https://docplayer.com.br/146593467-Cleide-beatriz-bourscheid-avaliacao-tecnologica-de-emendas-por-entalhes-multiplos-reforcadas-com-fibras-para-madeira-laminada-colada.html>. Acesso em: 28 nov. 2022.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991. 154 p.

CALIL NETO, C. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie – adesivo – tratamento químico**. 2011. São Carlos. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CALIL NETO, C. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento-preservativo**. São Carlos, 2011. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION – CSA 0177:2006. Qualification Code for Manufactures of Structural Glued. Laminated Timber. 16 p.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (2006). 077 Qualification Code for Manufactures of Structural Glued – Laminated Timber. p 16.

CARNEIRO, F. da S. **Densidade da madeira de espécies florestais de quatro áreas experimentais da Amazônia oriental brasileira**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216393/1/document.pdf> . Acesso em: 28 nov. 2022.

CAVALHEIRO, Raquel Schmitt. **Aplicação de diferentes técnicas de microscopia para análises da região adesiva em madeira lamelada colada (MLC)**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18158/tde-26092018-102603/pt-br.php>. Acesso em: 14 fev. 2023.

CHIMELO, J. Anatomia e propriedades gerais da madeira. In. OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C. NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco. Suprema Gráfica e Editora. 2007. p. 107-124.

CNCFlora. *Cedrela fissilis* in: **Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora**. Disponível em [http://cncflora.jbrj.gov.br/porta/pt-br/profile/Cedrela fissilis](http://cncflora.jbrj.gov.br/porta/pt-br/profile/Cedrela%20fissilis). Acesso em: 21 jan. 2022.

CNCFlora. Couratari tauari in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em http://cncflora.jbrj.gov.br/porta1/pt-br/profile/Couratari_tauari. Acesso em: 20 jan. 2022.

CORRÊA, C. **Técnicas de Colagem de Madeira com adesivos Vinílicos**. Borden. Química Indústria. 1997. 68 p.

EUROPEAN STANDARDS. EN 13353. Solid wood panels (SWP) - Requirements. Brussels: ES; 2008.

EUROPEAN STANDARDS. EN 13353. Solid wood panels (SWP) - Requirements. Brussels: ES. 2008

EUROPEAN STANDARDS. EN 13354. Solid wood panels (SWP) - Bonding quality. Brussels: ES.D. 2008

FERREIRA, Set al. **Resistência mecânica de caules de clones de Eucalyptus cultivados em diferentes topografias**. Cerne, Lavras, v. 16, p. 133-140, 2010.

FIORELLI, J., **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro**. 2005. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-19072005-110613/publico/tesejuliano.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2022.

GRINGS, M.; et. Al. **Cedrela fissilis** - Cedro. Brasília, DF: Centro de Informação, Documentação, 2011.

ICIMOTO, F. H. et. Al.. Dormentes de Madeira Laminada Colada de Pinus oocarpa. In: XV Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 15., 2016, Curitiba. Anais... Curitiba: IBRAMEM, 2016.

IMAFLOA. A evolução da atividade madeireira no estado do Pará: situação atual e perspectivas para o setor florestal no século XX. 2020. Disponível em: https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/boletim_timberflow_3_marco_2021_final_1.pdf. Acesso em: 15 jan. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. NCh2148:2013 Madera laminada encolada estructural - Requisitos, métodos de muestreo e inspección.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF/Série didática no 1/98, 1998. 128p.

KANDLER, G. et al. **Experimental Study on Glued Laminated Timber Beams with Well-Known Knot Morphology**. Eur. J. Wood Wood Prod. 2018.

KOLLMANN, F. F. P., et al. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v.2.

LAMBUTH L. Alan. **Historical Perspective and Wood Industry Needs - Adhesives from Renewable Resources**. New Orleans: [s.n], 1989

LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Revista Floresta e Ambiente** v. 7, n.1, p.158 - 166, jan./dez. 2000.

MACEDO, A. N. **Fadiga em Emendas Dentadas em Madeira Laminada Colada**. 2000. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2000.

MACEDO, A. N.; CALIL JUNIOR, C. **Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC): avaliação de métodos de ensaio – NBR 7190/ 1997**. Caderno de Engenharia de Estruturas, São Carlos – SP: [s.n.] 1999.

MAHALLE, L.; O’CONNOR, J.; BARRY, A. Environmental of cross-laminated timber. In: **CLT Handbook – Cross Laminated Timber**. Canadian: Edition. 2011. Cap. 11, p. 1-45.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MORADPOUR, P. et al. **Laminated strand lumber (LSL) reinforced by GFRP: mechanical and physical properties**. Construction and Building Materials, v. 158. 2018. p. 236-242.

MOREIRA, L. da S. et al. **Wood quality of residual branches of *Hymenaea courbaril* L. from logging in the Amazon rainforest**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/hf-2022-0084>Received. Acesso em: 15 out. 2022.

MORI, S.A.; LEPSCH-CUNHA, N. **The Lecythydaceae of a Central Amazonian Moist Forest**. New York, NY: The New York Botanical Garden, 1995. 55 p.

MORI, S.A.; PRANCE, G.T.; ZEEUW, C.H. Lecythydaceae, Part 2. The Zygomorphic-Flowered New World Genera (*Couroupita*, *Corythophora*, *Bertholletia*, *Couratari*, *Eschweilera*, & *Lecythis*), With a Study of Secondary Xylem of Neotropical Lecythydaceae. New York, NY: New York Botanical Garden, 1990. 373 p.

MORI, S. A. DE OLIVEIRA, A. A.; DALY, D. **A família da castanha-do-Pará: símbolo do Rio Negro**. São Paulo, SP & New York, NY: Companhia das Letras, 2001. 141 p.

NCFlora. *Mezilaurus itauba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em:

http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Mezilaurus_itauba. Acesso em: 20 jan. 2022.

NOGUEIRA, R. S. **Proposta de um método de ensaio para controle de qualidade na produção de elementos estruturais de MLC e de LVL**. 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062017-102209/publico/2017ME_RodrigodeSouzaNogueira.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2v. 439f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, Stefânia Lima. **Interação da espécie de madeira e do tipo de adesivo na qualidade da madeira laminada**. 2016. Tese(doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10981/2/TESE_Intera%C3%A7%C3%A3o%20da%20esp%C3%A9cie%20de%20madeira%20e%20do%20tipo%20de%20adesivo%20na%20qualidade%20da%20madeira%20laminada%20colada.pdf. Acesso em: 20 dez. 2022

PARRA SERRANO, Luisa Julieth. **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. 100 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

PEREIRA, M. C. M. **Painel estrutural de maneira maciça tipo DCLT: estudo experimental, analítico e numérico de dois painéis de lamelas cruzadas em ligações cavilhadas**. 2019. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais e Área de Concentração em Desenvolvimento, caracterização e Aplicação de Materiais. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2019.

PINTO, Edna Moura; CALIL JUNIOR, Carlito. **Comportamento da madeira exposta ao fogo**. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1546&subject=Combust&title=Comportamento da madeira exposta ao fogo. Acesso em: 8 jun. 2018.

RETAIL FORUM FOR SUSTAINABILITY: Documento temático n.º 4 [junho de 2010].

RIBEIRO, J.E.L.S. et al. **Flora da Reserva Ducke**: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA, 1999.

ROHUMAA, Anti. et al. **Understanding Wood Bonds—Going Beyond What Meets the Eye: A Critical Review**. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119625322.ch8>. Acesso em: 25 nov. 2023.

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. Theories and mechanisms of adhesion. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (Ed.). **Handbook of adhesive technology**. New York: M. Dekker, 1994. p. 19-32.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE - PA. Extração e Movimento de Toras de Madeira Nativa. Período de 1/1/2006 até 23/10/2011. Dados., Belém, PA, 2011.

SILVA, J. E. C. S. **Avaliação de indicadores de desempenho energético de edificações climatizadas**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2009/Artigos/Art_TCC_061_2009.pdf. Acesso em: 15 set. 2022.

SONG, J. et. al. **Processing Bulk Natural Wood into a High-Performance Structural Material**. [s.l.] Nature, 2018.

STOECKEL, F. et al. **Mechanical properties of adhesives for bonding wood**-A review. Intl. J. Adhesion Adhesives 45, 32–41. 2013.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 471-480, set. 2010. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap14.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2022.

THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Product guide: glulam. Disponível em: <http://www.apawood.org/glulam>. Acesso em: 8 mar. 2021.

THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Product guide: glulam. Disponível em: <http://www.apawood.org/glulam>. Acesso em: 8 mar. 2021.

VAN DER WERF, H. A Revision of Mezilaurus (Lauraceae). Ann. Missouri Bot. Gard., v. 74, n. 1, p. 153-182, 1987.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. São Carlos. 102 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.