



MARINA BOTELHO BARBOSA LIMA

**AVALIAÇÃO DE MADEIRA DE *Moquinia polymorpha* PARA
PRODUÇÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA**

**LAVRAS - MG
2019**

MARINA BOTELHO BARBOSA LIMA

**AVALIAÇÃO DE MADEIRA DE *Moquinia polymorpha* PARA PRODUÇÃO DE
MADEIRA LAMINADA COLADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras como parte das
exigências do Curso de Engenharia Civil, para
a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

**LAVRAS - MG
2019**

MARINA BOTELHO BARBOSA LIMA

**AVALIAÇÃO DE MADEIRA DE *Moquinia polymorpha* PARA PRODUÇÃO DE
MADEIRA LAMINADA COLADA**

***Moquinia polymorpha* WOOD AVALIATION FOR PRODUCTION OF GLUED
LAMINATED TIMBER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras como parte das
exigências do Curso de Engenharia Civil, para
a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 07 de novembro de 2019.
Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo, UFLA
Prof. Dr. José Benedito Guimarães Junior, UFLA
Prof. Dr. Rodrigo Allan Pereira, UFLA

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

**LAVRAS - MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, não poderia ser outra pessoa que não a minha mãe Meire a receber meus agradecimentos. Pelo apoio, pelas lições, pela amizade e pela preocupação incansável em buscar com que tivesse todo o necessário para concluir minha graduação.

Ao professor André Zangiácomo pela parceria e atenção durante o período de Iniciação Científica e pelo auxílio em todas as etapas como orientador do presente trabalho.

Aos demais professores que tive contato durante minha graduação, pelos ensinamentos diários e por alimentarem meu amor pela engenharia.

À minha família, por tudo que sou e pela dedicação e confiança em mim depositadas.

Aos meus amigos pela constante companhia e apoio durante todo o meu percurso na UFLA.

Muito obrigada a todos!

“Um escritor só escreve um único livro, embora esse livro apareça em muitos tomos, com títulos diversos.” (García Márquez)

Resumo geral do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UFLA como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

AVALIAÇÃO DE MADEIRA DE *Moquinia polymorpha* PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA

Marina Botelho Barbosa Lima

Novembro, 2019.

RESUMO

A madeira laminada colada, por ser composta por um material natural abundante, com alta capacidade estrutural e renovável, apresenta-se em uma crescente relevância no contexto da engenharia estrutural. A pesquisa de novas espécies para a produção de elementos estruturais pode aumentar a demanda, que apesar de crescente, ainda é pouco expressiva no Brasil. Nesse contexto, o cambará (*Moquinia polymorpha*) pode ser uma alternativa viável para a confecção de elementos de lâminas coladas, pois apresenta densidade compatível à de madeiras indicadas para esse fim. No presente trabalho, foram realizados ensaios normatizados para caracterização simplificada da espécie, sendo umidade, densidades aparente e básica, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras em emendas dentadas e cisalhamento na linha de cola. O resultado obtido para a umidade da amostra foi de 13,37%, e para a densidade aparente o valor foi de 0,67 g.cm⁻³. Na caracterização mecânica, obteve-se o valor médio para a compressão paralela às fibras de 60,92 MPa. Corpos de prova colados com adesivo à base de ureia-formol também foram testados, sendo obtido o valor de 15,91 MPa para a resistência à tração paralela às fibras em emendas dentadas e de 10,00 MPa para a resistência ao cisalhamento na linha de cola. Ante os valores apresentados, pode-se afirmar que os resultados não foram satisfatórios para as peças coladas sujeitas à tração paralela, o que pode ser explicado pela baixa pressão de colagem empregada. Assim, mais estudos devem ser desenvolvidos variando-se os parâmetros de pressão de colagem e/ou testando outros tipos de adesivos.

Palavras-chave: Cambará. Emendas dentadas. Cisalhamento na linha de cola. Estruturas de madeira.

General abstract of the Course Conclusion Work presented to UFLA as part of the Civil Engineering Course requirements, to obtain a Bachelor's degree.

***Moquinia polymorpha* WOOD AVALIATION FOR PRODUCTION OF GLUED LAMINATED TIMBER**

Marina Botelho Barbosa Lima

November, 2019.

ABSTRACT

Glued laminated timber, being composed of an abundant natural material with high structural and renewable capacity, is of increasing relevance in the context of structural engineering. The search for new species for the production of structural elements may increase the demand, which although growing, is still not expressive in Brazil. In this context, cambará wood (*Moquinia polymorpha*) may be a viable alternative for making glued laminated elements, as it has a density compatible with that of woods indicated for this purpose. In the present work, standardized tests were performed for simplified characterization of the specie, such as moisture, apparent and basic densities, parallel compression to the fibers, parallel tension to the fibers in finger joints and shear strength in the glue line. The result obtained for the sample humidity was 13.37%, and for the apparent density the value was 0.67 g.cm^{-3} . In the mechanical characterization, the following average values were obtained for the parallel compression to the fibers 60,92 MPa. Specimens glued with urea-formaldehyde based adhesive were also tested, obtaining a value of 15.91 MPa for the parallel tensile strength of finger joints and 10.00 MPa for shear strength in the glue line. From the presented values, it can be affirmed that the results were not satisfactory for the glued pieces subjected to the parallel traction, which can be explained by the low bonding pressure employed. Thus, further studies should be developed by varying the bonding pressure parameters and /or testing other types of adhesives.

Keywords: Cambará wood. Finger joints. Shear strength in the glue line. Timber structures.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE - INTRODUÇÃO GERAL	8
1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Madeira laminada colada no Brasil	9
2.2 Madeira em ligações coladas	12
2.3 A espécie <i>Moquinia polymorpha</i> (Cambará)	14
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
REFERÊNCIAS	17
SEGUNDA PARTE – ARTIGO: AVALIAÇÃO DE MADEIRA DE <i>Moquinia polymorpha</i>	
PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA	19
RESUMO	20
1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVO	21
3 METODOLOGIA	22
3.1 Umidade	22
3.2 Densidade aparente	23
3.3 Densidade básica	24
3.4 Resistência à compressão paralela às fibras	24
3.5 Adesivo	26
3.6 Resistência à Tração em Emendas Dentadas	26
3.7 Resistência ao Cisalhamento na Linha de Cola	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Caracterização física	29
4.2 Resistência à compressão paralela às fibras	29
4.3 Resistência à Tração em Emendas Dentadas	31
4.4 Resistência ao Cisalhamento na Linha de Cola	33
5 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	37

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, há no Brasil um incremento do emprego de estruturas de Madeira Laminada Colada (MLC). Isso pode ser comprovado pelo crescente número de projetos desenvolvidos utilizando essa técnica, fato que, conseqüentemente, demanda empresas que fabricam tais peças estruturais. Apesar do conhecimento das etapas do processo fabril, não são conhecidos de maneira satisfatória os desempenhos de várias espécies de madeiras obtidas de florestas em território nacional para emprego em Madeira Laminada Colada. Cabe ressaltar que ainda são empregadas basicamente dois gêneros de madeira, *Pinus* e *Eucalipitus*, para a confecção de peças estruturais de MLC no Brasil. Assim, a análise de diferentes espécies contribui para o desenvolvimento da área de estruturas de madeira em engenharia civil, além de poder corroborar para o mercado da construção civil com geração de empregos, incremento de produção industrial, geração de produto de valor agregado e de elevada qualidade, dentre outros.

De maneira simplificada, pode-se afirmar que madeiras de baixa densidade são potencialmente indicadas para a confecção de peças estruturais coladas. Entretanto, algumas dessas espécies podem apresentar incompatibilidade entre a madeira e o adesivo empregado. Algumas espécies tropicais apresentam extrativos vegetais que dificultam a penetração e a ancoragem do adesivo no material madeira, o que resulta em colagens insatisfatórias.

Nesse sentido, são necessários estudos que avaliem o desempenho mecânico de peças coladas de diferentes espécies de madeira, bem como trabalhos que promovam conhecimentos acerca do emprego de diferentes adesivos, pressões de colagem, tempo de cura, dentre outros fatores que podem influenciar na qualidade da peça estrutural.

Assim, o presente trabalho almeja avaliar o desempenho mecânico de peças coladas de madeira cambará, empregando adesivo do tipo ureia-formol. Para isso foram realizados ensaios

mecânicos e físicos em corpos de prova seguindo recomendações do documento normativo brasileiro NBR 7190 (ABNT, 1997), Projeto de Estruturas de Madeira, em sua versão atual, e também alguns procedimentos tendo como base o projeto de revisão do mesmo documento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Madeira laminada colada no Brasil

A madeira, segundo Calil Neto (2011), por ser um material de características únicas, de grande abundância, com alta capacidade estrutural, valor estético e renovável, vem se destacando como matéria-prima da engenharia estrutural. Devido principalmente a avanços tecnológicos e industrialização da madeira, esta tornou-se um excelente material para a concepção e construção de estruturas com formas inovadoras.

Como breve definição, a Madeira Laminada Colada é um produto criado a partir da junção de lâminas de madeira coladas para formar uma unidade composta com performance estrutural. SELBO & FREAS (1954), definiram o termo Glued Laminated Timber (Madeira Laminada Colada, em inglês) para peças estruturais formadas a partir de pedaços de madeira, dispostas na forma linear ou encurvada, com todas as tábuas essencialmente paralelas ao comprimento do elemento. Como vantagens da técnica listadas pelos mesmos autores, têm-se a possibilidade de grandes vãos livres com a fabricação de grandes elementos estruturais e arcos laminados, a grande variedade de formas e a possibilidade de retirada de lâminas que poderiam afetar negativamente a estrutura. Inclusive madeiras de variadas classes de resistência podem ser usadas na formação das peças estruturais, bem como variar as espécies de madeira nessa confecção (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

As aplicações da MLC são vastas e têm aumentado internacionalmente ao longo dos últimos anos. Segundo Granato (2011), além de outros vários materiais industrializados à base de madeira, como painéis de partículas de madeira orientadas (OSB), de fibras de média densidade (MDF) e de lâminas paralelas (LVL), a Madeira Laminada Colada apresenta

propriedades extremamente favoráveis à execução de uma construção racionalizada e sustentável.

Na América do Norte e no continente europeu, a industrialização da madeira é extremamente desenvolvida. A aplicação estrutural de elementos compostos por ligações coladas pode ser vista sob as mais variadas formas estruturais, desde pequenas passarelas, escadas e abrigos até grandes estruturas concebidas sob as mais variadas formas estéticas. Conforme abordado em Zangiácomo (2003), a empresa que desenvolveu inicialmente a produção de Madeira Laminada Colada no Brasil com tecnologia alemã, Esmarra Estruturas de Madeira Ltda., foi fundada em 1934, em Curitiba, Paraná. Atualmente, observa-se empresas mais centradas na região Sudeste, principalmente em Minas Gerais e São Paulo, entretanto, o número de empresas fabricantes de MLC no país ainda é baixo se comparado a países europeus. A Figura 1 ilustra um exemplo de estrutura feita em madeira laminada colada na França e a Figura 2, detalhe em MLC no Shopping Iguatemi, a maior construção empregando essa técnica no Brasil, em Fortaleza, Ceará.

Figura 1. Centre Pompidou Metz. Metz, França.



Fonte: www.centrepompidou-metz.fr

Figura 2. Shopping Iguatemi, Fortaleza, Ceará.



Fonte: www.luxorslr.com.br

Mesmo com quase um século de mercado no Brasil, a Madeira Laminada Colada ainda não é um material totalmente viável no contexto da construção civil brasileira. Como descreve Leite et al. (2017), tal fato resulta do uso não-convencional, do elevado custo dos adesivos estruturais e do restrito número de empresas com esta tecnologia de fabricação.

As análises científicas acerca da Madeira Laminada Colada no Brasil iniciaram-se com Simioni (1978) com a verificação da viabilidade técnica da confecção de vigas laminadas com madeira juvenil de *Pinus elliottii*. Mais tarde, Chahud e Lahr (1983) contribuíram com a avaliação da viabilidade de arcos de madeira laminada para estruturas principais de pontes. Contudo, ainda não existe uma norma brasileira que especifique adequações para o projeto de estruturas em MLC. O projeto de revisão da NBR 7190 (ABNT, 1997) busca incluir as qualificações para Madeira Laminada Colada e, assim, facilitar e assegurar projetos de estruturas de madeira com ligações coladas.

2.2 Madeira em ligações coladas

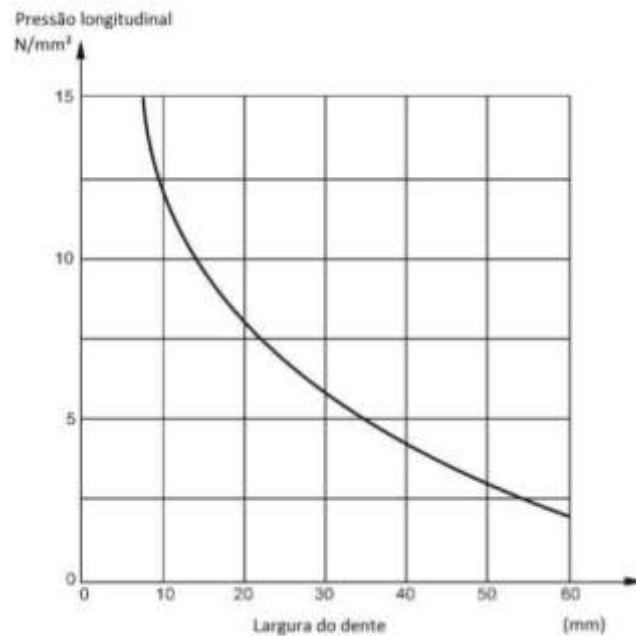
Observa-se que quase todas as espécies de madeira podem ser coladas para fabricação de MLC, porém, conforme Calil Neto (2011), há espécies que possuem características físicas e químicas que demandam o uso de adesivos especiais ou uma modificação das colas normalmente comercializadas.

Para a produção de elementos de MLC são empregados adesivos, com a função geral de unir materiais por meio de suas superfícies, como as da madeira, interligadas através da adesão (CAVALHEIRO, 2015). Os adesivos utilizados para a colagem da madeira também influenciam o resultado da produção e o aproveitamento do potencial da peça. Almeida et al. (2010) destacam que as principais propriedades dos adesivos que influenciam na colagem são: viscosidade, tempo de trabalho, teor de substâncias sólidas e pH. Já em seu trabalho, Calil Neto (2011) menciona que a escolha do adesivo fundamenta-se, principalmente, nas condições de uso da estrutura de madeira, com vistas à temperatura e umidade. Na produção de elementos de MLC, podem ser empregados diferentes tipos de adesivos, destacando-se a melamina-ureia formaldeído (MUF), os poliuretanos, e os adesivos fenólicos. Alguns trabalhos científicos, como o de Zangiácomo et al. (2007), avaliam o emprego de diferentes adesivos na produção de MLC.

Ainda como fatores diretamente envolvidos no processo de colagem, podem ser citadas algumas propriedades anatômicas da madeira, tais como a porosidade e a densidade, que podem influenciar na penetração dos adesivos na madeira, dentre outros. De maneira geral, observa-se uma melhor adesão em madeiras de menor densidade, com melhor ancoragem dos adesivos e conseqüentemente melhor desempenho mecânico da peça estrutural.

A pressão de colagem também interfere na penetração do adesivo. O projeto de revisão da NBR 7190 (2017), apresenta um diagrama Pressão x Largura do dente no qual estima-se a pressão ótima de colagem para emendas dentadas.

Figura 3. Relação recomendada entre o comprimento do dente e a pressão aplicada



Fonte: PN NBR 7190: 2017

Assim, os gêneros de Pinus e Eucaliptos são os mais utilizados no Brasil devido otimização dos adesivos e também pela grande disponibilidade comercial e presença em grandes áreas reflorestadas.

Como boa parte das florestas plantadas pertencem às empresas do setor de produção de celulose e papel, a matéria-prima adquirida pelo segmento da madeira serrada não apresenta características apropriadas para gerar peças ou componentes voltados para a construção civil. As que apresentam essas características, muitas vezes direcionam a comercialização para o mercado externo, pois esse exige qualidade, certificação das peças serradas e oferecem melhor preço. (LEITE et al., 2017)

Dessa forma, o estudo da viabilidade de espécies nativas pode contribuir para expandir a utilização de produtos engenheirados de madeira no Brasil, já que não haveria competição com o mercado externo e aproveitamento de recursos nativos do país.

Os mais relevantes trabalhos brasileiros sobre Madeira Laminada Colada, apresentam as seguintes análises: Jesus (2000) verificou o comportamento de adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada de quatro espécies de madeira, duas nativas de alta densidade, Jatobá (*Hymenaea spp*) e Ipê (*Tabebuia serratifolia*), e duas espécies de reflorestamento de baixa densidade, *Pinus elliottii* e *Eucaliptus grandis*; Zangiácomo (2003) estudou a viabilidade do emprego de várias espécies nativas como Envira Branca (*Xylopia sp*), Cambará (*Moquinia polymorpha*), Castanheira (*Bertholetia excelsa*) e Cedrinho (*Erismia sp*) para a produção de madeira laminada colada; Fiorelli (2005) analisou o comportamento teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada de *Pinus caribea var. hondurensis* reforçadas com fibra de vidro; e Miotto (2009) incluiu a verificação de estrutura mista de madeira *Lyptus* e concreto. De fato, a avaliação de elementos compostos de madeira laminada colada contribui para o aprimoramento tecnológico das estruturas de madeira, possibilitando a introdução de diferentes espécies de madeira, do uso de outros materiais combinados e da viabilidade de fabricação destes.

2.3 A espécie *Moquinia polymorpha* (Cambará)

Como espécie de baixa densidade dentre as folhosas e potencialmente indicada para a produção de MLC, tem-se o cambará. A espécie *Moquinia polymorpha* é característica do cerrado, sendo pertencente à família botânica asteráceas. Segundo Mainieri et al. (1983), a madeira de cambará é moderadamente densa, apresentando densidade aparente no intervalo de 0,60 g.cm⁻³ a 0,77 g.cm⁻³, à 15% de umidade. Como aparência geral da madeira, apresenta alborno destacado e cerne variando entre amarelo-claro e rosado-claro.

Por ser considerada uma madeira com boa resistência à água, é utilizada no madeiramento de telhados, coberturas de edificações e em elementos expostos a intempéries. A Figura 4 mostra uma estrutura de cobertura empregando peças serradas dessa espécie.

Figura 4. Madeiramento de telhado de residência em Ijaci, Minas Gerais.



Fonte: a autora

De acordo com a análise de Lima et al. (2007), a qual caracterizou a madeira da espécie *Moquinia polymorpha* nativa da região Sul de Minas Gerais, a composição química evidencia o comportamento de uma típica folhosa com concentração de extrativos relativamente baixa.

Assim, a combinação de extrativos com a baixa porosidade da espécie podem indicar uma razão para a alta resistência e a boa durabilidade da madeira Cambará. No entanto, essa característica pode influenciar na penetração de adesivos e requer estudos de compatibilidade química dos extrativos com diferentes bases de adesivos.

Zangiácomo et al. (2007), avaliando o desempenho de espécies tropicais na produção de MLC, estudou a madeira de cambará colada com dois adesivos: um à base de resorcinol-formaldeído e outro à base de resina poliuretana. Como resultado, o autor apontou que a madeira de cambará teve compatibilidade satisfatória com o primeiro adesivo, enquanto que para o segundo, os desempenhos das colagens foram insuficientes.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, a espécie *Moquinia polymorpha* apresenta características de densidade e resistência adequados para a produção de Madeira Laminada Colada, sendo uma folhosa com baixa concentração de extrativos e relativa baixa densidade.

Apesar do estudo de Zangiácomo et al. (2007), nota-se uma lacuna no que diz respeito a trabalhos que avaliem o uso da madeira de Cambará na produção de peças laminadas coladas, principalmente empregando adesivo à base de ureia-formol, o que justifica pesquisas como a aqui proposta.

Na segunda parte do trabalho, são apresentados os resultados obtidos nessa pesquisa e a discussão é feita em suas análises, sendo então descrita a conclusão e sugestões de futuras investigações complementares.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, N. F.; MORI, F. A.; GOULART, S. L.; MENDES, L. M. **Estudo da reatividade de taninos de folhas e cascas de barbatimão *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville.** Scientia Forestalis, Piracicaba, SP, v. 38, n. 87, p. 401-408, set. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7190:1997 – **Projeto de Estruturas de Madeira.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7190:2017 – **Projeto de Revisão da Norma de Estruturas de Madeira.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190:** Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. 1997.

CALIL NETO, Carlito. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo.** 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CAVALHEIRO, R. S. **Técnicas microscópicas para análise comparativa de penetração adesiva em madeiras de alta e baixa densidade em vigas de mlc.** *In:* XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2015.

CHAHUD, E.; ROCCO LAHR, F. A. **Estudo de viabilidade de arcos de madeira lamina para estruturas principais de pontes.** São Carlos, 1983. Relatório de Iniciação Científica nº 1 a 4 apresentads ao LaMEM/ EESC/ USP.

FIORELLI, Juliano. **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro.** 2005. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as anengineering material.** Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999. Estados Unidos da América. 463 p.

GRANATO, A. F. **Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2011. 71 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

JESUS, José Manoel Henriques de. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, University of São Paulo, São Carlos, 2000.

LEITE, Thaisa; SANTOS, Pedro; DO VALLE, Ivan. **O uso da Madeira Laminada Colada no Brasil: panorama e desafios** (2017).

LIMA, Silvia Regina de et al. **Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia - Moquinia polymorpha (LESS.) DC.** Ciênc. Florest., Santa Maria , v. 17, n. 2, p. 145-155, June 2007 .

MAINIERI, C.; CHIMELLO, J. P. (1983). **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2 ed – São Paulo: IPT.

MIOTTO, José Luiz. **Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro**. 2009. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2009.

SELBO, M. L.; FREAS, A. D. (1954). **Fabrication and Design of Glued Laminated Wood Structural Members**. USDA-FS-FPL, Washington, DC., 1954, 220p.

SIMIONI, A. **Sobre a viabilidade técnica da confecção de vigas laminadas com madeira juvenil de Pinus elliottii Engelm**. Curitiba, 1978. Dissertação (Mestrado em Engenharia

ZANGIÁCOMO, André Luiz. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de Madeira Laminada Colada**. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Usp, São Carlos, 2003.

ZANGIACOMO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. . **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. CADERNOS DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS (ONLINE), v. 9, p. 103-131, 2007.

SEGUNDA PARTE

**AVALIAÇÃO DE MADEIRA DE *Moquinia polymorpha* PARA PRODUÇÃO DE
MADEIRA LAMINADA COLADA**

AVALIAÇÃO DE MADEIRA DE *Moquinia polymorpha* PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA

Marina Botelho Barbosa Lima¹ André Luiz Zangiácomo²

RESUMO

A madeira laminada colada, por ser composta por um material natural abundante, com alta capacidade estrutural e renovável, apresenta-se em uma crescente relevância no contexto da engenharia estrutural. A pesquisa de novas espécies para a produção de elementos estruturais pode aumentar a demanda, que apesar de crescente, ainda é pouco expressiva no Brasil. Nesse contexto, o cambará (*Moquinia polymorpha*) pode ser uma alternativa viável para a confecção de elementos de lâminas coladas, pois apresenta densidade compatível à de madeiras indicadas para esse fim. No presente trabalho, foram realizados ensaios normatizados para caracterização simplificada da espécie, sendo umidade, densidades aparente e básica, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras em emendas dentadas e cisalhamento na linha de cola. O resultado obtido para a umidade da amostra foi de 13,37%, e para a densidade aparente o valor foi de 0,67 g.cm⁻³. Na caracterização mecânica, obteve-se o valor médio de resistência para a compressão paralela às fibras de 60,92 MPa. Corpos de prova colados com adesivo à base de ureia-formol também foram testados, sendo obtido o valor de 15,91 MPa para a resistência à tração paralela às fibras em emendas dentadas e de 10,00 MPa para a resistência ao cisalhamento na linha de cola. Ante os valores apresentados, pode-se afirmar que os resultados não foram satisfatórios para as peças coladas sujeitas à tração paralela, o que pode ser explicado pela baixa pressão de colagem empregada. Assim, mais estudos devem ser desenvolvidos variando-se os parâmetros de pressão de colagem e/ou testando outros tipos de adesivos.

Palavras-chave: Cambará. Emendas dentadas. Cisalhamento na linha de cola. Estruturas de madeira.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho propôs-se a avaliar o comportamento de lâminas coladas da espécie *Moquinia polymorpha*, conhecida como Cambará ou Candeia. A espécie de folhosa estudada apresenta média-baixa densidade dentre a classe pertencente, característica que, de acordo com o estudo de Lobão (2006), aumenta as chances de adesão satisfatória entre madeira e adesivo devido a difícil penetração do adesivo que interfere na qualidade da junta. Além disso, a facilidade de compra de madeira certificada de Cambará na região de Lavras-MG contribui para a utilização da espécie em produtos engenheirados.

Verifica-se, entretanto, que apesar da disponibilidade de recursos naturais, no contexto geral brasileiro, a produção de madeira laminada colada ainda é insignificante ao comparar-se às obras em concreto armado. Deve-se este fato à baixa popularidade da técnica e às pesquisas voltadas aos meios científicos, incluídos os custos para fabricação que encarecem o produto final. Bono et al. (1996), verificaram a expansão da técnica no Brasil, confirmando a versatilidade do material MLC na obtenção de formas estruturais diversas, mesmo com as dificuldades encontradas pelo mercado produtor.

Dessa forma, incentivar a pesquisa de novas espécies e de diferentes adesivos para colagem contribui para os avanços tecnológicos e popularização da madeira laminada colada para uso estrutural. Assim, os ensaios e discussão desenvolvidos na pesquisa buscam contribuir para a caracterização física e mecânica da espécie *Moquinia polymorpha*, comparando-se os resultados a pesquisas anteriores em Madeira Laminada Colada, principalmente com as verificações de Zangiácomo et al. (2007) sobre o cambará.

2 OBJETIVO

Esse trabalho visa estudar a utilização de madeira da espécie cambará (*Moquinia polymorpha*) para a produção de madeira laminada colada.

3 METODOLOGIA

As amostras de cambará utilizadas foram retiradas de peças com dimensões nominais 5 cm x 10 cm x 200 cm, isentas de defeitos, adquiridas em madeira da cidade de Lavras – MG. O aspecto da madeira adquirida de Cambará pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Aspecto da madeira da espécie Cambará (*Moquinia polymorpha*) adquirida.



Fonte: a autora

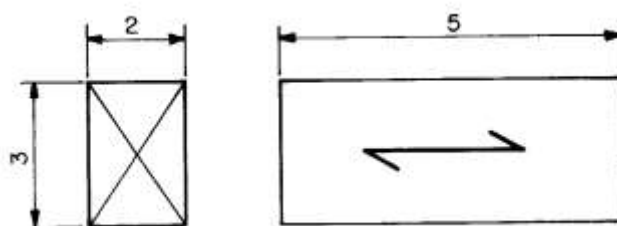
Foram conduzidos ensaios para a determinação da umidade e da densidade aparente da madeira. Também foram testados corpos de prova para determinação da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras, e feitos ensaios para determinação das resistências à tração em emendas dentadas e ao cisalhamento na linha de cola. Os ensaios realizados são preconizados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) vigente e também pelo referenciado em seu respectivo projeto de revisão.

3.1 Umidade

Para a determinação da umidade na base seca das amostras de madeira da espécie Cambará, em conformidade com a NBR 7190, 12 corpos de prova foram confeccionados

conforme recomendação do Anexo B. A Figura 2 ilustra as dimensões das peças.

Figura 2. Dimensões do corpo de prova para determinação da umidade.



Fonte: Figura B.2 – NBR 7190:1997

A umidade (U%) em cada corpo de prova foi calculada a partir da Equação 1:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde m_i é a massa inicial da madeira (em gramas) e m_s é a massa seca (em gramas).

A partir de corpos de prova de mesmas dimensões, determinou-se as densidades aparente e básica seguindo procedimento descrito no referido documento normativo.

3.2 Densidade aparente

A densidade aparente (ρ_{ap}) das amostras foi determinada a partir da Equação 2.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (2)$$

Onde m_{12} é a massa da madeira a 12% de umidade, e v_{12} é o volume da madeira a 12% de umidade.

3.3 Densidade básica

A densidade básica (ρ_{bas}) dos corpos de prova relaciona massa seca e volume saturado, sendo calculada pela Equação 3.

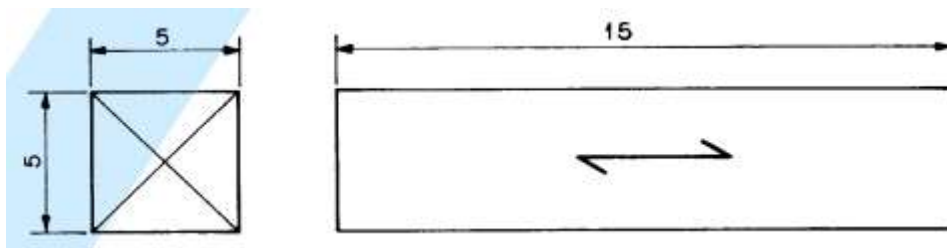
$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (3)$$

Onde m_s é a massa seca da madeira, e v_{sat} é o volume saturado da mesma.

3.4 Resistência à compressão paralela às fibras

Com o intuito de determinar a resistência e a rigidez à compressão paralela às fibras da madeira, foram confeccionados 6 corpos de prova de dimensões 5 cm x 5 cm x 15 cm (a Figura 3 ilustra essas medidas). Para estimativa de carga nos testes, corpos de prova gêmeos foram ensaiados previamente. Os ensaios seguiram recomendação do Anexo B da NBR 7190.

Figura 3. Dimensões do corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras



Fonte: Figura B.5 – NBR 7190

Um ensaio de compressão paralela às fibras conduzido nesse trabalho é mostrado na Figura 4.

Figura 4. Ensaio de corpo de prova à compressão paralela às fibras



Fonte: a autora

A resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) é dada pela Equação 4.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,m\acute{a}x}}{A} \quad (4)$$

Onde $F_{c0,m\acute{a}x}$ é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova, e A é a área inicial da seção transversal comprimida.

3.5 Adesivo

O adesivo comercial Redemite® foi utilizado para colagem dos corpos de prova. Resinas líquidas sintetizadas a partir de formol e de ureia, bases do adesivo, são indicadas para a colagem de madeiras e suas derivações. Este apresenta-se solúvel em água e com possibilidade de aplicação com pressão. O adesivo utilizado foi preparado de acordo com as recomendações do fabricante: a mistura, em massa, foi de 100 partes de adesivo, 20 partes de extensor (farinha de trigo), 20 partes de água e 3 partes de endurecedor.

As pressões de colagem foram definidas a partir de trabalhos anteriores, como o de Zangiácomo et al. (2007).

3.6 Resistência à Tração em Emendas Dentadas

As emendas do tipo *finger joint* foram realizadas em 10 peças de dimensões 2 cm x 5 cm x 40cm, com fresa adaptada (Figura 6), sendo cada dente cortado com dimensões nominais de 15mm de comprimento, 5 mm de base e 1mm de topo, e usinagem horizontal. O adesivo foi aplicado por toda a emenda com pressão de colagem de 1 MPa. A Figura 5 ilustra a fresa utilizada para cortar os corpos de prova.

Figura 5. Fresa utilizada para corte das emendas dentadas.



Fonte: a autora

Figura 6. Detalhe dos dentes cortados no corpo de prova.



Fonte: a autora

A resistência à tração em emendas dentadas ($f_{gt,0}$) é calculada empregando a Equação 5.

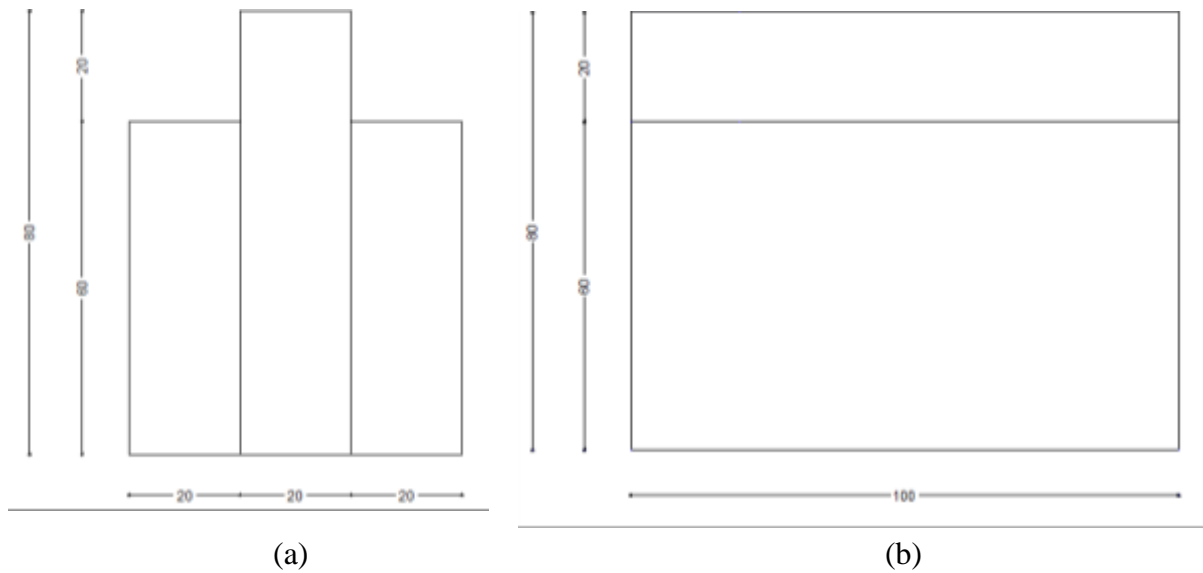
$$f_{gt,0} = \frac{F_{t0,máx}}{A_{gt,0}} \quad (5)$$

Onde $F_{t0,máx}$ é a máxima força de tração aplicada ao corpo de prova durante o ensaio e $A_{gt,0}$ é a área inicial da seção transversal tracionada.

3.7 Resistência ao Cisalhamento na Linha de Cola

A partir de vigas compostas por 3 lamelas de dimensões transversais 2cm x 8cm, coladas paralelamente com pressão de 2 MPa durante 24 horas, foram confeccionados 6 corpos de prova com as dimensões mostradas na Figura 8. Para realização do ensaio de cisalhamento, adaptou-se a geometria dos corpos de prova devido aos equipamentos disponíveis na Universidade Federal de Lavras. Assim, o ensaio realizado seguiu adaptação do trabalho de Segundinho (2015).

Figura 7. Dimensões em milímetros do corpo de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola - vistas frontal (a) e lateral (b).



Fonte: a autora

A resistência ao cisalhamento na linha de cola (f_{v0}) é calculada por meio da Equação 6.

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,máx}}{A_{v0}} \quad (6)$$

Onde $F_{v0, máx}$ é a máxima força de cisalhamento aplicada ao corpo de prova, e A_{v0} é a área inicial da lâmina de cola do corpo de prova.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados contempla as médias simples dos valores obtidos nos ensaios e empregando as equações descritas anteriormente, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação.

4.1 Caracterização física

Os resultados médios calculados para uma amostra de 12 corpos de prova estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Umidade, densidade aparente e densidade básica.

Umidade (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Densidade Básica (g/cm ³)
13,371	0,672	0,644

A umidade obtida para a espécie Cambará amostrada foi de 13,37%, valor próximo ao referenciado pelo documento normativo NBR 7190 (ABNT, 1997) para madeiras secas, ou seja, 12%. Assim, considerando a ambiência e o resultado obtido, inferiu-se que a madeira estava na condição de seca.

A densidade aparente obtida para a madeira foi de 0,67 g.cm⁻³, próxima a 0,63 g.cm⁻³ obtida por Zangiácomo et al. (2007). A densidade básica encontrada para o Cambará foi de 0,64 g.cm⁻³.

4.2 Resistência à compressão paralela às fibras

Os resultados encontrados para a resistência à compressão paralela às fibras estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resistência à compressão paralela às fibras para cada corpo de prova.

Corpo de Prova	f_{c0} (MPa)
CP 1	58,219
CP 2	60,060
CP 3	66,925
CP 4	60,811
CP 5	64,095
CP 6	55,406

A Tabela 3 contém o valor médio calculado para a resistência à compressão paralela às fibras, bem como o desvio-padrão da amostra e seu coeficiente de variação.

Tabela 3. Resistência à compressão paralela às fibras média, desvio padrão e coeficiente de variação.

$f_{c0,méd}$ (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
60,920	4,113	6,752

A média dos seis corpos de prova ensaiados foi de 60,92 MPa, valor que poderia conduzir a uma classificação dessa madeira como de classe C40, conforme diretrizes da NBR 7190 (ABNT, 1997). Os resultados apontam também para uma amostra cujos indivíduos apresentam valores de resistência próximos, fato corroborado pelo coeficiente de variação obtido, de 6,75%.

A partir do valor de resistência à compressão, pode-se estimar a resistência à tração paralela às fibras com o emprego da Equação 7.

$$f_{t0,méd} = \frac{f_{c0,méd}}{0,77} = \frac{60,92}{0,77} = 79,11 \text{ MPa} \quad (7)$$

E também, com uso da Equação 8, a resistência ao cisalhamento da madeira pode ser estimada.

$$f_{v0,méd} = f_{c0,méd} \times 0,12 = 60,92 \times 0,12 = 7,31 \text{ MPa} \quad (8)$$

4.3 Resistência à Tração em Emendas Dentadas

Os valores de resistência das emendas dentadas à tração paralela às fibras determinados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resistência à tração paralela às fibras em emenda dentada nos corpos de prova.

Corpos de Prova	$f_{gt,0}$ (MPa)
CP 1	14,551
CP 2	11,885
CP 3	15,642
CP 4	18,351
CP 5	19,843
CP 6	14,891
CP 7	20,157
CP 8	12,352
CP 9	20,219
CP 10	11,225

A Tabela 6 contém o valor médio calculado para a resistência à tração paralela às fibras em emenda dentada, bem como o desvio-padrão da amostra e seu coeficiente de variação.

Tabela 6. Resistência à tração paralela às fibras em emenda dentada média, desvio padrão e coeficiente de variação.

$f_{gt,0,méd}$ (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
15,912	3,524	22,150

Comparando-se a resistência à tração paralela às fibras calculada no item 4.2, onde a resistência à tração estimada foi de 79,11 MPa, e tomando-se esse valor como referência, conclui-se que a resistência média obtida em corpos de prova emendados, 15,91 MPa, está consideravelmente abaixo do valor inferido para a madeira maciça (o valor obtido nos ensaios corresponde a cerca de 20% do valor estimado).

Em Zangiácomo et al. (2007), utilizou-se pressão de colagem de 0,8 MPa, obtendo resultados satisfatórios com a utilização de adesivo Cascophen®. Já para esse trabalho, no entanto, em todos os corpos de prova a ruptura ocorreu na linha de cola, demonstrando que a ligação entre madeira e adesivo não ocorreu satisfatoriamente. Tal fato sugere que a pressão de colagem, 1 MPa, pode ter sido menor do que a necessária, devendo ser conduzidos mais ensaios para determinar a pressão ótima de colagem para essa espécie. A Figura 8 mostra a face da ruptura puramente na linha de cola.

Figura 8. Corpo de prova com ruptura na linha de cola



Fonte: a autora

Além disso, há a possibilidade de incompatibilidade do adesivo com madeiras que possuem extrativos específicos, tal como o Cambará. De acordo com Lima et al. (2007), verifica-se a presença de alguns compostos químicos que obstruem os poros da madeira, que podem ser incompatíveis com algumas bases de adesivos. Fato corroborado por Mainieri et al. (1983), que verificou que o Cambará apresenta poros muito pequenos obstruídos por óleo resina e tilas, característica que pode influenciar na permeabilidade da madeira e pode prejudicar uma efetiva colagem.

4.4 Resistência ao Cisalhamento na Linha de Cola

O ensaio adaptado solicita duas linhas de cola, sendo a área de cisalhamento igual a duas linhas de cola. Pode-se assemelhar a geometria adotada à do Ensaio de Ligações Mecânicas (NBR – 7190:1997, Anexo C).

Os resultados obtidos para a resistência ao cisalhamento na linha de cola estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resistência ao cisalhamento na linha de cola nos corpos de prova

Corpos de Prova	f_{v0} (MPa)	Ruptura
CP 1	9,386	Mista
CP 2	13,827	Linha de cola
CP 3	9,310	Linha de cola
CP 4	11,673	Mista
CP 5	9,711	Mista
CP 6	6,099	Mista

O modo de ruptura variou entre os corpos de prova, como mostrado na Tabela 8, evidenciando um melhor comportamento na interface madeira-adesivo do que no ensaio à tração. Tal resultado pode ter sido influenciado pela pressão de colagem, 2 MPa, maior do que o valor de 1 MPa aplicado para as emendas dentadas, o que pode indicar melhora do

comportamento da ligação com o aumento da pressão. As Figuras 9 e 10 mostram uma ruptura mista ocorrida durante ensaio de cisalhamento na linha de cola.

Figura 9. Corpo de prova com ruptura mista



Fonte: a autora

Figura 10. Direção de uma ruptura mista em um corpo de prova



Fonte: a autora

A resistência ao cisalhamento média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resistência ao cisalhamento na linha de cola média, desvio padrão e coeficiente de variação.

$f_{v0,méd}$ (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
10,001	2,592	25,919

A resistência ao cisalhamento na linha de cola média (10,00 MPa) foi superior à esperada em cerca de 37%, em relação à estimada no item 4.2, (7,31 MPa). E comparada à Tabela 9 da NBR 7190 para classe C40 de dicotiledôneas (em f_{cm} , 8,57 MPa), aproximadamente 17% acima. Comparando ao resultado obtido em Zangiácomo et al. (2007), para a espécie colada com adesivo a base de mamona, observa-se que a resistência ao cisalhamento média determinada foi de 10,05 MPa, valor bem próximo ao encontrado na presente pesquisa. Dessa forma, observou-se que a pressão de colagem ótima está acima das testadas no presente trabalho.

Considerando-se a recomendação, a pressão ótima designada pelo Projeto de Revisão da Norma de Estruturas de Madeira (2017) - sem valor normativo - que deveria ser aplicada em ligações adesivadas poderia ser próxima a 8,5 MPa. De acordo com experimentos de Melotto (2007), pode-se inferir uma pequena melhora da colagem com o aumento da pressão para *Eucalyptus grandis* à temperatura ambiente, assim sendo, outras pressões de colagem podem ser testadas para *Moquinia polymorpha* de forma a avaliar suas características de colagem com o adesivo utilizado e a viabilidade de produção de elementos estruturais colados.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos ensaios conduzidos nessa pesquisa, pode-se classificar a madeira investigada como de classe de resistência C40. É possível também afirmar que os corpos de prova para ensaio de tração paralela às fibras em emendas dentadas apresentaram ruptura na linha de cola, sem exceção, evidenciando colagem não satisfatória, o que pode ser explicado pela baixa pressão de colagem.

Os corpos de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola apresentaram resultados considerados intermediários em termos de interação madeira-adesivo, ou seja, parte das peças rompeu na madeira, indicando colagem satisfatória, e parte rompeu na linha de cola, evidenciando um comportamento não desejável para peças de madeira laminada colada.

Ante o exposto, não se pode indicar categoricamente o uso da madeira Cambará para emprego na montagem de peças estruturais de madeira laminada colada. Fica evidente que um número maior de trabalhos científicos deve ser realizado para preencher a lacuna existente no que diz respeito ao conhecimento do desempenho dessa espécie juntamente ao adesivo empregado.

Considerando os resultados obtidos, sugere-se como estudos futuros a análise de outros níveis de pressões de colagem de peças confeccionadas com o Cambará, bem como a investigação do desempenho mecânico dessa espécie com outros adesivos comerciais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7190:2017 – **Projeto de Revisão da Norma de Estruturas de Madeira.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7190:1997 – **Projeto de Estruturas de Madeira.**

BONO, Cynara Tesson; INO, Akemi. **Madeira laminada colada na arquitetura: sistematização de obras executadas no Brasil.** 1996. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

LIMA, Silvia Regina de et al. **Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia - Moquinia polymorpha (LESS.) DC.** Ciênc. Florest., Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 145-155, Junho, 2007.

LOBÃO, Moisés Silveira; Gomes, Adriana. **Qualidade da adesão de madeira de eucalipto em corpos de prova colados em dois diferentes planos e densidades.** CERNE, vol. 12, núm. 2, abril-junho, 2006, pp. 194-200 Universidade Federal de Lavras. Lavras, Brasil.

MAINIERI, C.; CHIMELLO, J. P. (1983). **Fichas de características das madeiras brasileiras.** 2 ed – São Paulo: IPT.

MELOTTO, Marco Aurélio. **Estudo do tempo de adesão, da temperatura e da pressão de colagem na tensão limite de cisalhamento de uniões de madeira de Eucalyptus grandis coladas com adesivo sem solvente.** 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SEGUNDINHO et al. **Resistência de linhas de cola para madeiras de reflorestamento: Strength of glue line for reforestation wood.** Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 36, n. 1, p. 107-116, 2015.

ZANGIACOMO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. . **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada.** Cadernos de engenharia de estruturas (online), v. 9, p. 103-131, 2007.