

Madeira lamelada colada (MLC) com *Acacia mangium* e adesivos estruturaisGlued laminated timber (GLULAM) with *Acacia mangium* and structural adhesivesPedro Gutemberg de Alcântara Segundinho¹, Lélío Caiado Abreu França²,
Pedro Nicó de Medeiros Neto³, Fabricio Gomes Gonçalves¹ e José Tarcisio da Silva Oliveira¹**Resumo**

A madeira lamelada colada (MLC) é um material compósito formado a partir da colagem de peças de madeira selecionadas em formato de lamelas dispostas com as fibras paralelas entre si. Esse trabalho teve como propósito avaliar a qualidade da MLC utilizando a madeira de *Acacia mangium* e adesivos comerciais visando suas aplicações em elementos estruturais. Os testes foram feitos a partir de amostras obtidas dos elementos de MLC e da madeira maciça. Foram realizados ensaios para determinar as propriedades físicas e mecânicas, sendo os dados submetidos à análise de variância e ao teste Tukey ao nível de 5% de significância. A partir dos resultados observou-se que existe viabilidade do emprego da madeira de *Acacia mangium*, sendo que o adesivo melamina-uréia-formaldeído (MUF) mostrou-se mais apropriado para fabricação de MLC.

Palavras-chave: elementos estruturais, colagem da madeira, propriedades mecânicas, propriedades físicas.

Abstract

The Glued laminated timber (GLULAM) is a composite material formed from the bonding of selected pieces of wood, in lamellae form, arranged with parallel fibers put together. This work aimed to evaluate the quality of GLULAM using the wood of *Acacia mangium* and commercial adhesives aiming at their applications in structural elements. Tests were made from samples obtained from the elements of the GLULAM and solid wood. Assays were performed to determine the physical and mechanical properties; the data were subjected to analysis of variance and Tukey test, at 5% significance level. From the results it was observed that it is viable to using wood of *Acacia mangium*, and that the melamine-urea-formaldehyde (MUF) adhesive was more suitable for the GLULAM manufacture.

Keywords: structural elements, wood glue, mechanical properties, physical properties.

INTRODUÇÃO

O uso da madeira maciça, principalmente na construção civil, possui algumas restrições; dentre elas, se destacam as suas dimensões limitadas, a anisotropia, os defeitos naturais, como nós, inclinação da grã, lenhos de tração e porcentagem de lenho juvenil e adulto. Uma maneira de minimizar esses problemas seria o uso da madeira lamelada colada (MLC), que corresponde a um produto composto de lamelas de madeira de espessura variável fixadas individualmente por meio de adesivos estruturais, permitindo a obtenção de variadas formas para os elementos construtivos. Essa técnica tem desempenhado um papel crescente na indústria de produtos florestais, sendo um fator chave para

a utilização eficiente dos recursos madeireiros (FRIHART; HUNT, 2010).

Segundo Moody e Hernandez (1997), *The Engineered Wood Association* (APA) (2014); Shmulsky e Jones (2011), o uso da MLC tem como principais características a versatilidade na obtenção de variadas formas para elementos estruturais, com possibilidade de aplicação de contra-flechas durante o processo de fabricação, baixa relação peso-resistência, resistência a agentes corrosivos, resistência ao fogo, eficiência térmica e estabilidade dimensional. Herawati, Massijaya e Nugroho (2010) enfatizam que o uso de vigas de MLC proporciona uma oportunidade para o aproveitamento da madeira de árvores de pequeno diâmetro e material subutilizado. Os autores ainda afirmam que a madeira serrada de

¹Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. Av. Gov. Linderberg, n. 316, Centro - 29.550-000 - Jerônimo Monteiro, ES. E-mail: p_gutemberg2001@yahoo.com.br; fabricao.goncalves@ufes.br; tarolive@yahoo.com.br.

²Mestrando em Engenharia Civil. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Rua João Pio Duarte Silva, s/n - Córrego Grande - 88040-900 - Florianópolis, SC. E-mail: leliocaf@gmail.com.

³Doutorando em Ciências Florestais. UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. Av. Gov. Linderberg, n. 316, Centro - 29.550-000 - Jerônimo Monteiro, ES. E-mail: pedroflorestal@gmail.com.

alta qualidade é necessária apenas para as camadas externas, enquanto lamelas de madeira serrada de qualidade inferior podem ser usadas no interior das peças de MLC.

No Brasil tornou-se necessário desenvolver alternativas técnicas viáveis para a utilização racional da madeira proveniente de florestas plantadas devido à redução da disponibilidade de madeira serrada provinda de espécies nativas. Como tal tem-se a produção de elementos de MLC a partir das madeiras de pinus e eucalipto (TEREZO; SZÜCS, 2010). Porém, outras espécies utilizadas nas áreas de plantios como *Acacia mearnsii* e *Acacia mangium* que corresponde a 2,06% (148.311 ha) tiveram um acréscimo de 16,23% nos plantios de 2010 a 2012, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2013), podem ser utilizadas também para confecção de elementos de MLC.

A *Acacia mangium* é considerada uma das espécies de rápido crescimento mais amplamente utilizadas em programas de plantações florestais em toda a Ásia e no Pacífico, e tem sido amplamente introduzida em países tropicais e subtropicais (KRISNAWATI; KALLIO; KANNINEN, 2011). Sua madeira é de boa usinagem, pode ser facilmente trabalhada; a secagem apresenta maior complexidade, mas se forem aplicados programas de secagem adequados, pode ser secada dentro de qualidade aceitável e com defeitos mínimos. Tem sido relatada uma boa tratabilidade com preservantes e, por conseguinte, pode ser facilmente protegida contra infestação por agentes biodeterioradores (LIM; GAN; CHOO, 2003).

Paradis et al. (2011) publicaram um material com as propriedades tecnológicas de diversas espécies do mundo; para *Acacia mangium*, foram apresentados valores de densidade aparente igual a 0,52 g.cm⁻³, a 12% de teor de umidade, coeficiente de contração volumétrica igual a 0,37%, contração total tangencial igual a 7,0%, contração total radial igual a 3,1%, sendo considerada uma madeira moderadamente estável em suas dimensões. Como frequentemente observadas para as espécies plantadas, as propriedades físicas e mecânicas dessa madeira podem variar dependendo da origem, condições de crescimento nos plantios e idade das árvores. Segundo Gonçalves e Lelis (2012), tecnologicamente, a madeira da espécie *Acacia mangium* é promissora para MLC, pois apresenta características ideais para ser utilizada, por exemplo, na indústria de colagem de madeira, em razão dos

baixos teores de extrativos e da acidez não elevada que são parâmetros importantes quando se pensa em adesão.

Com a crescente utilização de produtos à base de compostos de madeira, torna-se importante entender a interação entre a madeira e os adesivos utilizados na fabricação de produtos colados, principalmente em relação à madeira de florestas plantadas (ALBINO; MORI; MENDES, 2010). No Brasil, para produção da MLC utiliza-se comumente o adesivo fenol-resorcinol-formaldeído (FRF). Outro tipo de adesivo é o melamina-ureia-formaldeído (MUF), bi-componente, que traz como vantagens um menor tempo de cura e resulta em uma linha de cola transparente após a catalisação (MIOTTO; DIAS, 2009).

Frihart e Hunt (2010) enfatizam que as propriedades de superfície não são os únicos fatores para o controle da ligação em madeira. A qualidade da colagem é afetada pelas propriedades físicas da madeira – particularmente densidade aparente, porosidade, teor de umidade, contração e inchamento.

Com base no exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade da MLC confeccionada com madeira de *Acacia mangium* e adesivos comerciais à base de melamina-ureia-formaldeído (MUF) e poliuretano líquido (PUR), visando suas aplicações em elementos estruturais.

MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de *Acacia mangium* utilizada para a realização da pesquisa foi procedente de plantios comerciais com idade de 18 anos, localizados no Vale do Rio Doce, município de Belo Oriente, estado de Minas Gerais. As árvores foram transformadas em tábuas e dispostas para secar em ambiente protegido de intempéries por um período de três meses até atingir um teor de umidade aproximadamente igual a 15%. Após a secagem natural, foi realizada uma classificação visual, com seleção das que possuíam menos defeitos.

Caracterização das propriedades da madeira

A caracterização das propriedades físicas da madeira foi realizada de acordo com os métodos de ensaios definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 (1997). Foram determinados o teor de umidade e a densidade aparente.

Para a caracterização das propriedades mecânicas (compressão e cisalhamento paralelo às fibras) da madeira maciça, foi utilizada a norma *American Society for Testing and Materials – ASTM D143* (2000). O equipamento para realização dos ensaios mecânicos foi uma máquina universal de ensaios com capacidade de 100 kN.

Confecção dos elementos de MLC

Para produção da MLC foram confeccionadas 216 lamelas, de dimensões de 25 x 60 x 400 mm (espessura x largura x comprimento), que produziram 72 elementos de MLC. Em cada prensagem foram confeccionados 6 elementos de MLC, sendo preparadas 18 lamelas diariamente para evitar as movimentações, empenamentos e deformações que por acaso ocorressem em menos de 48 horas após a preparação, a fim de garantir a melhor adesão possível. Na avaliação dos adesivos estruturais foram utilizadas as gramaturas e as pressões de colagem apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de adesivos, gramaturas e pressões de colagem.

Table 1. Types of adhesives, amounts of glue and gluing pressures.

Adesivos	Gramaturas (g.m ⁻²)	Pressões (MPa)
PUR	300	0,8
MUF1	500	0,8
MUF2	500	1,2

Os adesivos utilizados foram o melamina-ureia-formaldeído (MUF), bi-componente – que traz como vantagens um menor tempo de cura e resulta em uma linha de cola transparente após a catalisação, em duas condições de prensagem –, e o adesivo poliuretano líquido (PUR), monocomponente isento de formaldeído. Ambos os adesivos foram preparados em temperatura ambiente de 20°C. Durante o processo de colagem, os adesivos foram espalhados com o auxílio de uma espátula diretamente sobre a face das lamelas de madeiras, evitando desta forma maiores desperdícios. O adesivo MUF empregado foi o 1242, misturado ao endurecedor 2542 (ambos fabricados pela empresa *Akzo Nobel*), e o adesivo PUR empregado foi o *Purbond HB S309*, fabricado pela empresa *Henkel*.

Após a aplicação dos adesivos, as lamelas foram unidas e em seguida montadas para aplicação de pressão constante, necessária para proporcionar a penetração da cola na madeira. Para os tratamentos apresentados na Tabela 1, a prensagem foi mantida por um período míni-

mo de 6 horas, em um ambiente com temperatura de 20°C e umidade relativa do ar de 65%, de acordo com recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997). Após o término da prensagem, os elementos de MLC foram armazenados em local coberto e mantidos em equilíbrio higroscópico com o meio, a fim de atingir a cura completa dos adesivos.

Caracterização das propriedades da MLC

Foram realizados os ensaios de cisalhamento na linha de cola para avaliação de sua qualidade utilizando-se os corpos de prova obtidos a partir dos elementos de MLC produzidos de acordo com a ASTM D 905 (ASTM, 2009). Foram realizados ainda ensaios de delaminação cíclica, de acordo com a norma do *American Institute of Timber Construction – AITC* (2007).

A caracterização das propriedades mecânicas dos elementos de MLC foi realizada a partir de ensaios padronizados. Foram utilizados 24 elementos de MLC, em que se retirou um corpo de prova para cada ensaio mecânico de cada elemento de MLC. Os ensaios mecânicos foram de compressão paralela às fibras na condição seca e saturada, cisalhamento paralelo às fibras na condição seca e saturada, cisalhamento em corpo de prova tipo 'H' na condição seca e ensaio de delaminação. Os corpos de prova foram extraídos de maneira aleatória ao longo do comprimento de cada elemento de MLC, conforme as dimensões apresentadas na Figura 1.

Para o ensaio de compressão paralela às fibras, foi aplicada a norma da ASTM D143 (2000). Para o ensaio de cisalhamento na linha de cola, o procedimento de teste foi realizado de acordo com a norma ASTM D905 (2009). Após o ensaio de cisalhamento foi avaliada a porcentagem da falha na madeira, com auxílio de uma malha quadriculada, com precisão de 1% (38,1 x 50,8 mm).

O ensaio de cisalhamento na linha de cola também foi realizado em corpos de prova do tipo 'H' (*push-out*). Este teste foi realizado para avaliar a resistência ao cisalhamento e consequentemente à qualidade de duas linhas de cola.

O ensaio de delaminação foi realizado conforme as recomendações da norma AITC T110 (2007). O ensaio consiste em colocar os corpos de prova dentro de uma autoclave, expondo as linhas de cola a tensões devido ao efeito de vácuo e pressão, em três ciclos de umedecimento e secagem, durante um período de 12 dias. Para tal, foi empregado um aparato que consiste em

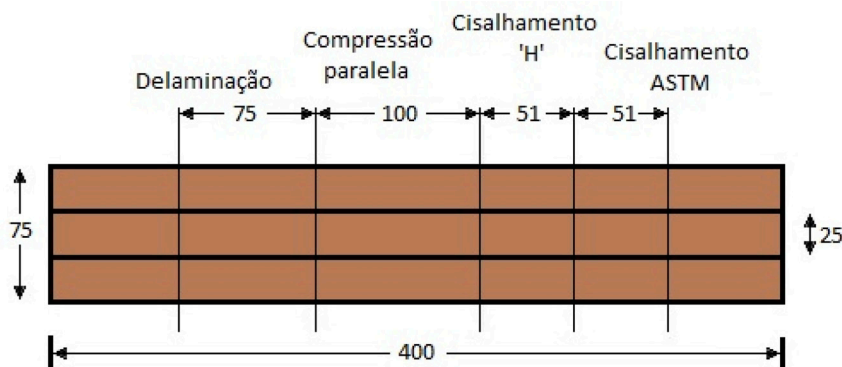


Figura 1. Esquema da obtenção dos corpos de prova retirados das peças de MLC. Medidas em mm.
Figure 1. Scheme for the obtaining of specimens taken from pieces of glulam. Measurements in mm.

uma autoclave de 53 x 19,5 cm (comprimento e diâmetro) equipada com um compressor com capacidade de operação máxima de 800 kPa, para a obtenção de uma pressão de 550 kPa, e uma bomba de vácuo com capacidade 250 psi (1723,69 kPa), capaz de gerar um vácuo de pelo menos 22 inHg.

Na primeira etapa do ensaio, os corpos de prova foram inseridos na autoclave para aplicação de vácuo de 75 ± 10 kPa, durante 2 horas, depois foi liberado o vácuo e aplicou-se água com pressão de 540 ± 20 kPa durante 2 horas. Repetiu-se este mesmo procedimento na segunda etapa, totalizando 8 horas de permanência na autoclave, e então os corpos de prova foram retirados da autoclave e passaram por um período de 96 horas no primeiro ciclo.

No segundo e terceiro ciclos foram repetidos os mesmos procedimentos do primeiro ciclo. Ao final do ensaio, previu-se o comportamento da combinação da MLC exposta ao exterior, por meio da porcentagem de delaminação, que é obtida nas duas faces de topo dos corpos de prova.

Análise estatística

Os experimentos foram conduzidos sob um delineamento inteiramente casualizado, onde foram comparados sete tratamentos (PUR-seco, MUF1-seco, MUF2-seco, Madeira maciça-seco, PUR-saturado, MUF1-saturado e MUF2-saturado) com 24 repetições para a resistência à compressão paralela às fibras, dez tratamentos (PUR-seco, MUF1-seco, MUF2-seco, PURH-seco, MUF1H-seco, MUF2H-seco, Madeira maciça-seco, PUR-saturado, MUF1-saturado e MUF2-saturado) com 24 repetições para a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e seis tratamentos (PUR-seco, MUF1-seco, MUF2-seco, PUR-saturado, MUF1-saturado e MUF2-saturado) com 22 repetições para a falha na madeira.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey em 5% de significância para comparação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedade física da madeira

A madeira de *Acacia mangium* apresentou uma densidade aparente igual a $0,62 \text{ g.cm}^{-3}$ com teor de umidade igual a 12%.

O conhecimento do teor de umidade e a densidade aparente do lote de madeira são fatores fundamentais para fabricação de MLC, uma vez que a umidade deve estar entre 8 e 12% e a densidade aparente influencia no tempo de prensagem e na pressão, durante o processo de produção dos elementos de MLC.

O valor médio da densidade aparente foi superior àqueles encontrados por outros autores, que apresentam valores entre $0,51 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$ para a madeira de *Acacia mangium* (SATTAR et al., 1993; LAURILA, 1995; ROKEYA et al., 2010).

Comparando a densidade aparente com a de espécies plantadas, o resultado é inferior ao apresentado para a espécie de *Eucalyptus grandis* com valor igual a $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ e superior ao *Pinus* sp., com densidade aparente igual a $0,46 \text{ g.cm}^{-3}$ (MAINIERI; CHIMELO, 1989).

Propriedades mecânicas da madeira e da MLC

Compressão paralela às fibras

Os resultados obtidos para compressão paralela às fibras nos corpos de prova de madeira maciça e MLC seca e saturada podem ser observados na Tabela 2.

Para a resistência de compressão paralela às fibras, os três tratamentos secos não diferiram estatisticamente entre si, ou seja, para efeito de compressão paralela, o desempenho dos adesi-

vos na madeira de *Acacia mangium* é similar. A resistência para a madeira maciça foi um pouco inferior, e está relacionada à classificação que foi feita das lamelas para confecção dos elementos de MLC, que levou em consideração os melhores materiais – em termos de porção de madeira de cerne presente. A variabilidade dos valores de compressão paralela provavelmente não se explica pela variação dos adesivos, mas sim pela própria variação das propriedades da madeira e pela variabilidade nos corpos de prova – devido a diferentes concentrações de regiões de cerne e alburno, lenho juvenil e adulto.

Tabela 2. Valores médios de resistência à compressão paralela às fibras.

Table 2. Mean values of compressive strength parallel to grain.

Tratamentos	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
MUF1-seco	54,15 a	5,57
MUF2-seco	53,86 a	4,06
PUR-seco	52,72 ab	4,78
Madeira maciça-seco	49,48 b	2,88
MUF2-saturado	32,13 c	2,92
MUF1-saturado	31,98 c	3,88
PUR-saturado	29,88 c	3,41

Cisalhamento

Os resultados obtidos nos ensaios dos corpos de prova de resistência ao cisalhamento de madeira maciça, MLC secos, saturados e do tipo 'H' são expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de resistências ao cisalhamento paralelo às fibras.

Table 3. Mean values of shear strength parallel to fibers.

Tratamentos	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
MUF1-seco	11,23 a	1,70
MUF1-saturado	10,24 ab	1,49
MUF2-seco	9,97 b	1,57
MUF2-saturado	9,41 bc	1,34
PUR-seco	8,66 c	1,46
Madeira maciça-seco	8,64 c	1,24
MUF1H-seco	6,22 d	1,22
PURH-seco	5,59 d	1,43
MUF2H-seco	5,53 d	1,17
PUR-saturado	5,09 d	0,70

Para a resistência ao cisalhamento, o melhor resultado foi obtido com o MUF1 no ambiente seco e saturado, o que indica a qualidade desse adesivo para aplicações externas, quando submetido a condições de umidade elevada e intemperismo, dessa forma satisfaz as condições de adesivos para aplicação estrutural segundo a NBR 7190

(1997). O menor resultado foi obtido com o adesivo PUR na condição saturada, o que mostra que esse adesivo não é ideal para aplicações externas com a madeira de *Acacia mangium*. Portanto, comprovou-se que o adesivo MUF apresentou desempenho satisfatório também em MLC, visto que a sua eficiência tinha sido comprovado em painéis, conforme Iwakiri et al. (2005).

Cisalhamento no corpo de prova tipo 'H' (push-out)

No ensaio de cisalhamento no corpo de prova tipo 'H' (push-out), tentou-se reproduzir o efeito do cisalhamento em duas linhas de cola. Observou-se que as rupturas ocorreram majoritariamente na madeira por fendilhamento na lamela central do corpo de prova, conforme mostrado na Figura 2. Isso prediz de fato que as linhas de colas resistiram às cargas solicitadas.



Figura 2. Corpos de prova do tipo 'H', rompidos na madeira e intactos.

Figure 2. Samples of type 'H', broken in wood and intact.

No ensaio de cisalhamento tipo 'H', 58,3% dos corpos de prova romperam na madeira, ou seja, a linha de cola resistiu aos esforços mecânicos, 33,3% dos corpos de prova romperam na linha de cola, e apenas 8,4% dos corpos de prova resistiram e não romperam.

Para o cisalhamento dos corpos de prova tipo 'H', os resultados deveriam ser iguais ou exceder o valor de resistência ao cisalhamento da madeira maciça que está sendo utilizada para sua fabricação; portanto, esperava-se que os resultados fossem equivalentes à madeira maciça. Quanto aos valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola do MLC, esperava-se que o corpo de prova estrutural resistisse pelo menos ao dobro do cisalhamento do corpo de prova convencional, pois possui duas linhas de cola.

Em relação às análises das falhas na linha de cola dos corpos de prova colados, pode-se inferir que um maior percentual de falha na madeira está relacionado com uma maior eficiência do adesivo. As maiores porcentagem de falha na madeira ocorreram com os tratamentos MUF1-

-seco e MUF2-seco, tais valores não impediram que fossem satisfeitas as premissas de aceitação da MLC que são relativas à resistência ao cisalhamento da linha de cola, segundo a NBR 7190 (1997). O percentual de falha na madeira para os tratamentos aplicados encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios de falha na madeira.
Table 4. Mean values of wood failure.

Tratamentos	Média (%)
MUF1-seco	65,08 a
MUF2-seco	42,92 b
MUF1-saturado	28,50 bc
PUR-seco	26,63 bc
PUR-saturado	22,42 bc
MUF2-saturado	20,96 c

As médias na mesma coluna, seguidas pela letra minúscula, não são estatisticamente diferentes em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de Tukey.

O valor médio encontrado para a resistência na linha de cola dos corpos de prova saturados foram inferiores em relação aos corpos de prova secos. Isso confirma que o teor de umidade influencia nas propriedades mecânicas da madeira e de seus derivados (LOGSDON; CALIL JUNIOR, 2002).

Ensaio de delaminação

Após os procedimentos realizados, não houve alterações que comprometessem a integridade na interface entre a linha de cola e as lamelas de *Acacia mangium*. Na Figura 3 é possível observar a secção transversal em detalhes dos corpos de prova que foram ensaiados na delaminação.

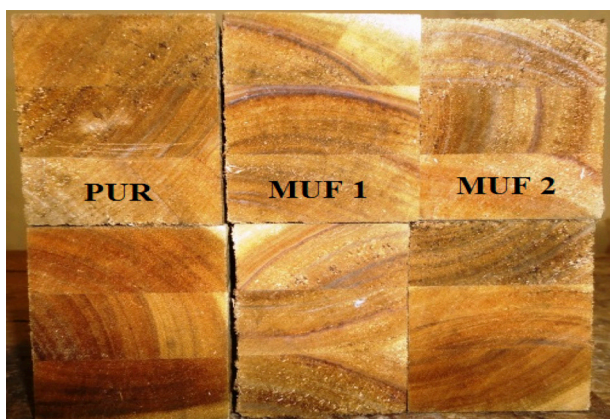


Figura 3. Corpos de prova após realização do ensaio de delaminação sem descolamento das linhas de cola.

Figure 3. Specimens after the test of delamination with no detachment of glue lines.

A porcentagem de delaminação é determinada pela relação entre o comprimento máximo de delaminação de uma linha de cola e o comprimento da linha de cola. Notou-se por

meio da verificação visual do estado das linhas de cola que os corpos de prova não apresentaram fendas de delaminação; comprovou-se que a porcentagem de delaminação foi igual a zero. Tal valor foi inferior ao encontrado por Fiorelli e Dias (2005), de 6,47% para elementos colados com adesivos *Phenol-Resorcinol* e *Epóxi*, como também inferior ao máximo de 10% estipulado pela norma europeia EM 386 (EUROPEAN STANDARD, 2001).

A avaliação da eficiência desses adesivos, quando submetidos a variações de umidade, pressão e temperatura é de fundamental importância para garantir a integridade do elemento estrutural em MLC durante seu tempo de uso (FIORELLI; DIAS, 2005).

Herawati; Massijaya e Nugroho (2010) obtiveram resultados insatisfatórios em MLC e testes de delaminação com os adesivos poliuretanos; muitos resultados com baixa resistência ao cisalhamento apareceram durante os ensaios.

Calil Neto (2011) obteve resultados de delaminação iguais a 0,6% para o *Pinus oocarpa*, 2,2% para a *Tectona grandis* e 38,6% para o híbrido *Eucalyptus urograndis* utilizando como adesivo o CASCOPHEN RS-216 M, um bi-componente produzido a partir de um adesivo a base de resorcinol.

Segundo Iwakiri et al. (2005), os fabricantes de adesivos para madeira passaram a produzir em escala comercial os adesivos compostos, tais como melamina-uréia-formaldeído (MUF) e fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF), para aplicações semi-estruturais, com maior resistência à umidade e custos compatíveis. A partir dos resultados dessa pesquisa acredita-se que a resina MUF será viável para a produção de elementos estruturais em MLC, tanto para serem usados em áreas externas quanto para áreas internas.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que:

- A madeira de *Acacia mangium* pode ser considerada apta para ser empregada na fabricação de elementos estruturais de MLC, tanto pela capacidade que apresentou na colagem das peças de madeira, quanto pela resistência característica à compressão paralela às fibras – o que a enquadra na classe C30 das dicotiledôneas, conforme a NBR 7190, em vigor;
- O adesivo melamina-uréia-formaldeído (MUF) mostrou-se mais viável para fabricação

de elementos estruturais de madeira laminada colada (MLC) em ambientes secos e saturados;
- O adesivo poliuretano líquido (PUR) mostrou-se insuficiente para resistir a casos de exposição em ambientes saturados;
- O ensaio de delaminação comprovou uma boa eficiência das linhas de cola dos adesivos PUR e MUF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília, 2013.

AITC - AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **Test T110** – Test methods for structural glued laminated timber – Cyclic delamination test. Centennial, CO, 2007.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. 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.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Structural Panel and Engineered Wood Yearbook**. APA Economics Report E175. Disponível em: . Acesso em: 22 jul. 2014.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143** – Standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, PA, 2000.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 905** – Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. Philadelphia, PA, 2009.

CALIL NETO, C. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie – adesivo – tratamento preservativo**. 2011. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

EUROPEAN STANDARD. **EN 386**. Glued Laminated Timber: Performance requirements and minimum production requirements. 2001.

FIORELLI, J.; DIAS, A. A. Avaliação da delaminação em peças de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 241-249, 2005.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. **Adhesives with wood materials bond formation and performance**. Madison: Forest Service, 2010, Chap. 10 (USDA FPL General Technical Report, 190).

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Caracterização Tecnológica da Madeira de *Acacia mangium* Willd em Plantio Consorciado com Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 286-295, 2012.

HERAWATI, E.; MASSIJAYA, M. Y.; NUGROHO, N. Performance of glue laminated beams made from small diameter fast-growing tree species. **Journal of Biological Sciences**, Singapore, v. 10, n. 1, p. 37-42, 2010.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta de alta densificação com uso de resina melaminuréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005.

KRISNAWATI, H.; KALLIO, M.; KANNINEN, M. *Acacia mangium* Willd: ecology, silviculture and productivity. Bogor: CIFOR, 2011. 15 p.

LAURILA, R. Wood properties and utilization potential of eight fast-growing tropical plantation tree species. **Journal of Tropical Forest Products**, Malaysia, v. 1, n. 2, p. 209-221, 1995.

LIM, S. C.; GAN, K. S.; CHOO, K. T. **The characteristics, properties and uses of plantation timbers – rubberwood and *Acacia mangium***. Kuala Lumpur: Timber Technology Centre, 2003, 11 p. (Timber Technology Bulletin, 26).

LOGSDON, N. B.; CALIL JUNIOR, C. Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Caderno de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 18, p. 77-107, 2002.

- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2.ed. São Paulo: IPT, 1989. 432 p.
- MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto. **Revista Tecnológica**, Maringá, Edição Especial, p. 35-45, 2009.
- MOODY, R. C.; HERNANDEZ, R. Glued-Laminated Timber. In: _____. **Engineered Wood Products - A guide for specifiers, designers and users**. Madison: USDA Forest Service, 1997. p. 1-39.
- PARADIS, S.; GUIBAL, D.; VERNAY, M.; BEAUCHÊNE, J.; BRANCHERIAU, L.; CHÂLON, I.; DAIGREMONT, C.; DÉTIENNE, P.; FOUQUET, D.; LANGBOUR, P.; LOTTE, S.; MÉJEAN, C.; THÉVENON, M.; THIBAUT, A.; GÉRARD, J. **Cirad Tropix 7.0: Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées**. Montpellier: CIRAD, 2011.
- ROKEYA, U. K.; HOSSAIN, M. A.; ALI, M. R.; PAUL, S. P. Physical and mechanical properties of (*Acacia auriculiformis* x *A. mangium*) hybrid acacia. **Journal of Bangladesh Academy of Sciences**, Bangladesh, v. 34, n. 2, p. 181-187, 2010.
- SATTAR, M. A., KABIR, M. F.; BHATTACHARJEE, D. K. **Physical, mechanical and seasoning properties of *A. mangium* and *A. auriculiformis***. Bangladesh: Timber Physics Series, 1993, 6 p. (Bulletin, 15).
- SHMULSKY, R.; P. JONES, P. D. **Forest products and wood science: an introduction**. 6.ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. 496 p.
- TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 471-480, 2010.

Recebido em 10/07/2014
Aceito para publicação em 23/02/2015