

Resíduos madeireiros de eucalipto colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente

Eucalypts timber wastes glued with urea formaldehyde resin at room temperature

Ana Carolina Boa¹, Fabricio Gomes Gonçalves², José Tarcísio da Silva Oliveira²,
Juarez Benigno Paes² e Marina Donária Chaves Arantes²**Resumo**

Existem diversas alternativas para o uso dos resíduos madeireiros, sendo a colagem da madeira uma destas. Além de permitir a utilização dos resíduos gerados durante as operações de processamento da madeira, a produção de painéis agrega valor ao produto, permitindo a produção de peças com dimensões superiores às da madeira serrada. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de juntas coladas com ureia formaldeído a partir de resíduos madeireiros de eucalipto classificados como lenha. Neste estudo avaliou-se a colagem de resíduos madeireiros ao serem testadas duas classes de densidade da madeira, CI ($\leq 0,65 \text{ g.cm}^{-3}$) e CII ($> 0,65 \text{ g.cm}^{-3}$), e cinco gramaturas do adesivo ureia formaldeído, 150, 200, 250, 300 e 350 g.m^{-2} , sendo realizado o ensaio de resistência ao cisalhamento da linha de cola e a avaliação da falha na madeira. Madeiras de menores densidades exibiram melhor qualidade de colagem e a gramatura de 350 g.m^{-2} proporcionou melhor resistência na linha de cola para ambas as classes de densidade.

Palavras-chave: Madeira de eucalipto, junta colada, resíduo madeireiro.

Abstract

There are several alternatives to the use of the timber wastes, and wood gluing is one of these. In addition to permitting usage of the waste generated during processing operations, the production of wood panels adds value to the final product, allowing the production of parts with dimensions greater than those of lumber. This study aimed to evaluate the behavior of joints bonded with urea formaldehyde from waste of eucalypts wood classified as firewood. This study assessed the waste wood glue testing two classes of wood density, CI ($\leq 0,65 \text{ g.cm}^{-3}$) and CII ($> 0,65 \text{ g.cm}^{-3}$), and five amounts of urea formaldehyde adhesive: 150, 200, 250, 300 and 350 g.m^{-2} ; testing the shearing strength of the glue line and evaluating wood failure. Wood of smaller densities exhibited better bonding quality and the amount of 350 g.m^{-2} urea formaldehyde resulted in better glue line resistance for both density classes.

Keywords: Eucalypt wood, glued joint, waste timber.

INTRODUÇÃO

No processamento da madeira, tem-se associada aos produtos principais a geração de resíduos sólidos, sendo estes originados desde o corte da árvore até as etapas de processamento primário e secundário da madeira. Nas serrarias são observados grandes volumes de resíduos madeireiros, que muitas vezes são inutilizados, dispostos para queima ou mesmo armazenados em locais inadequados.

Os resíduos gerados no processamento da madeira podem ser reaproveitados de forma a

reduzir os riscos ao ambiente, gerar lucros para as empresas que os produzem, e tornar-se matéria-prima para novos produtos.

A colagem da madeira é uma alternativa para um melhor aproveitamento da matéria-prima, pois reduz a exigência da qualidade inicial da mesma, como a presença de nós e bolsas de resina (LIMA et al., 2008). No entanto, Carneiro et al. (2004) e Passos et al. (2006) mencionam que o custo dos adesivos pode ser equivalente a 50% do investimento de um novo produto.

A confecção de juntas coladas é realizada de forma a se obter peças com as dimensões ne-

¹Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. UFES - Universidade Federal do Espírito Santo - Av. Gov. Lindemberg, 316, Jerônimo Monteiro, ES, 29550-000. E-mail: b.anacarol@yahoo.com.br.

²Doutor (a). Professor (a) do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Gov. Lindemberg, 316, Jerônimo Monteiro, ES, 29550-000. E-mail: fabricio.goncalves@ufes.br; jtsilva@npd.ufes.br; juarez.benigno@pq.cnpq.br; mdonariac@hotmail.com.

cessárias ao mercado, sendo a determinação da gramatura do adesivo um parâmetro indicado para a redução dos custos deste produto.

A qualidade da colagem da madeira está relacionada às características do adesivo a ser utilizado e também às variáveis relacionadas à estrutura anatômica da madeira e ao tipo de processamento da madeira antes da colagem (REMADE, 2002).

As principais propriedades da madeira que influenciam a qualidade da colagem são as anatômicas, químicas e físicas. O efeito da constituição química da madeira na qualidade da colagem está relacionada principalmente, à concentração de extrativos na superfície a ser colada e também ao teor de cinzas e ao pH da madeira. Estas características podem influenciar desde o tempo de cura do adesivo até a resistência da colagem. Já as propriedades físicas mais influentes ao processo de colagem da madeira são a densidade e a umidade, de forma que estas propriedades podem afetar a mobilidade e as tensões na linha de cola (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JUNIOR, 2005).

Diversos autores avaliaram o potencial do reaproveitamento de resíduos madeireiros por meio da colagem. Almeida (2013) verificou que a colagem de resíduos da espécie de amendoim (*Pterogyne nitens*) com acetato de polivinila (PVAc) para a produção de painéis colados lateralmente, a gramatura de 180 g.m⁻² e pressões de 6 e 8 kgf.cm⁻², atendeu ao preconizado pela norma europeia EN13354 quanto a qualidade da colagem. Já Dacosta (2004), Pedrazzi (2005) e Dias (2008) em seus estudos avaliaram o aproveitamento de resíduos originados do processamento da madeira de *Pinus elliotti*, *Eucalyptus*

saligna e *Pinus* sp, respectivamente, para a produção de chapas de partículas e destacaram que o emprego destes materiais atendeu as necessidades de produção para essas chapas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de juntas coladas com o adesivo ureia formaldeído a temperatura ambiente de resíduos madeireiros de eucalipto classificados como lenha.

MATERIAL E MÉTODOS

O material foi coletado de uma pequena serraria localizada no município de Jerônimo Monteiro no Sul do Estado do Espírito Santo, que utiliza como fonte de matéria prima as espécies de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora* e o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

A serraria tem como produtos a madeira para uso estrutural, janelas, portas e a produção de móveis. Os resíduos originados do processo destes produtos são comercializados para a utilização na queima direta, em padarias para fornos à lenha, ou para a produção de carvão vegetal.

Para o trabalho foram empregados resíduos dos desdobros principal e secundário, que incluem costaneiras, refilos e aparas (Figura 1). A coleta foi realizada no pátio da empresa, na pilha de material rejeitado, sendo apenas considerada a classificação visual em primeiro momento.

Após a coleta dos resíduos, o material foi beneficiado em peças menores com dimensões de 3,0 x 7,0 x 33,0 cm (espessura x largura x comprimento). Também foram amostrados corpos de prova para a realização da densidade básica e análises químicas da madeira, sendo obtidos



Figura 1. Resíduos da serraria. A – Costaneiras e B – Refilos e aparas.
Figure 1. Residues of sawmill . A – Slabs, B - Edgings and trimmings.

quatro corpos de prova de cada amostra em que foram retiradas as peças. Para a densidade básica, os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 2,0 x 2,0 x 3,0 cm (radial x tangencial x longitudinal) e para as análises químicas as amostras retiradas foram transformadas em serragem e preparadas conforme a norma *Technical Association of Pulp and Paper Industry* – TAPPI (1992).

O material destinado à formação das juntas coladas foi exposto à secagem natural em ambiente protegido por 30 dias, e acondicionado em câmara de climatização, com temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$, durante 30 dias, até que fosse atingido o teor de umidade de 15%. Durante o período de climatização foi realizado monitoramento do material, com pesagem semanal das amostras para o controle da umidade. Depois de acondicionadas, as peças foram redimensionadas a 2,0 x 6,0 x 30,0 cm (espessura x largura x comprimento) para formação das juntas coladas.

Densidade básica

A densidade básica foi determinada de acordo com o preconizado na Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). Depois de obtidos os valores de densidade, as peças foram divididas em duas classes de densidade, as peças com densidade menor ou igual a $0,65\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ compreenderam a classe de densidade I (CI) e as com densidade superior a $0,65\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ compreenderam a classe II (CII).

Análises químicas

As análises químicas foram realizadas para determinar o teor de extrativos, de cinzas e o pH da madeira que compõe cada classe de densidade. Para cada um deles foi empregada uma norma específica. Para a determinação do teor de extrativos da madeira seguiram-se as recomendações da TAPPI (1998), para o teor de cinzas empregou-se o recomendado pela Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel – ABTCP (1974) e o pH foi determinado de acordo com recomendações de Gonçalves e Lelis (2012).

Colagem da madeira

Para a realização da colagem foi utilizado um adesivo termofixo à base de ureia formaldeído. Esta é uma resina sintética, líquida aquosa, de cor branca leitosa, com indicação para colagem de madeiras em geral. De acordo com o fabri-

cante, possui viscosidade entre 600 a 1000 centi Poise (Cp) e pH entre 7,4 a 8,0. O teor de sólidos do adesivo empregado foi determinado como recomendado por Brito (1995).

Para a prensagem a temperatura ambiente foi adicionado ao adesivo Catalisador HLE-30 juntamente a um extensor, de acordo com as recomendações do fabricante. A preparação do adesivo seguiu a proporção de 100 partes de adesivo, 20 partes de farinha de trigo empregada como extensor, 20 partes de água e sete partes do catalisador. Foi também adicionado o corante anilina de cor verde à mistura, para melhorar a visualização da falha da madeira.

O emprego da farinha de trigo como extensor nos adesivos à base de ureia formaldeído é uma exigência técnica e econômica, e está relacionada ao aumento da viscosidade do adesivo, de forma a melhorar as condições de espalhamento e absorção (JANKOWSKY, 1980; ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JÚNIOR, 2005).

Como a densidade básica foi o critério adotado para separar o material em duas classes, e por este material ser proveniente de resíduos e não ser originado da mesma espécie, para a formação das juntas coladas foram utilizadas peças com densidades semelhantes, conforme as classes pré-definidas.

Para cada classe de densidade foram utilizadas cinco condições de gramatura do adesivo de acordo com o tratamento estabelecido, sendo a quantidade de adesivo referente a cada gramatura dividida em ambas as faces dos corpos de prova e distribuída com auxílio de uma espátula. Após receberem o adesivo as peças foram unidas para a formação da junta e prensadas em máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas por um período de 6 horas a uma pressão de $12\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ e temperatura ambiente de 25°C . Na Figura 2 se encontram ilustradas as etapas da formação das juntas coladas.

Ensaio de cisalhamento da madeira e cisalhamento na linha de cola

O ensaio de cisalhamento da madeira sólida foi realizado de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo realizado para que os valores obtidos neste ensaio pudessem ser comparados aos de resistência na linha de cola. Foram obtidos corpos de prova para cada classe de densidade, com um total de 35 repetições por classe, os quais foram ensaiados em uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas.

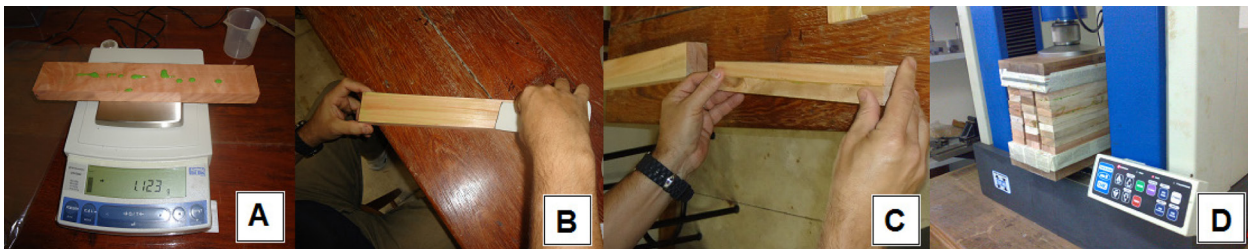


Figura 2. Formação da junta colada. A – Aplicação do adesivo nas peças, B – Distribuição do adesivo com espátula, C – Peças unidas com adesivo e D – Prensagem das juntas coladas.

Figure 2. Formation of the glued joint. A - Application of adhesive on pieces; B - Distribution of adhesive trowel; C - Pieces attached with adhesive; and D - Pressing of bonded joints.

Para confecção dos corpos de prova para análise de cisalhamento na linha de cola, foram seguidas as recomendações da American Society for Testing and Materials - ASTM (2008). Estes foram ensaiados em uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas para obtenção da resistência na linha de cola (Figura 3). O percentual de falha na madeira foi determinado de acordo com Buligon (2011), com auxílio de uma película transparente quadriculada.

Tratamentos e análise estatística dos dados

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial (2 x 5), sendo a densidade da madeira com dois níveis; classe I e classe II, e a gramatura do adesivo com cinco níveis; 150, 200, 250, 300 e 350 g.m⁻², totalizando 10 tratamentos com 15 repetições cada. Sempre que a análise de variância detectou diferenças entre os tratamentos a 95% de probabilidade foi utilizado o teste de Tukey também a 95% de probabilidade para a comparação das densidades e regressão para a análise do efeito das gramaturas do adesivo. Na Tabela 1 consta a formação dos tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amplitude dos valores observados de densidade básica da madeira para a classe de densidade I compreendeu valores de 0,50 a 0,65 g.cm⁻³, já para a classe de densidade II compreendeu

Tabela 1. Tratamentos efetuados conforme as classes de densidade e gramaturas do adesivo.

Table 1. Treatments performed in according to classes of density and adhesive amounts.

Tratamento	Classes de Densidade (g.cm ⁻³)	Gramaturas do Adesivo (g.m ⁻²)
1		150
2	Classe I ≤ 0,65	200
3		250
4		300
5		350
6		150
7	Classe II > 0,65	200
8		250
9		300
10		350

o intervalo de 0,67 a 0,81 g.cm⁻³. Os valores de teor de extrativos, cinzas, pH e o resultado do ensaio de cisalhamento da madeira para cada classe de densidade constam da Tabela 2.

Madeiras de eucalipto de maiores densidades obtiveram maiores valores de resistência ao cisalhamento. Os valores estão próximos aos encontrados por Plaster et al. (2008) que obtiveram para madeiras de *Eucalyptus* sp. com densidade entre 0,80 e 0,89 g.cm⁻³ resistência ao cisalhamento de 12,94 MPa.

Vargas (1987), citado por Acosta e Pérez (2011), classifica o esforço de cisalhamento em madeira sólida e na linha de cola em cinco grupos (Tabela 3). De acordo o autor citado, quanto à resistência ao cisalhamento da madeira sólida, as madeiras da classe de densidade I possuem valores médios e as da classe II valores altos.

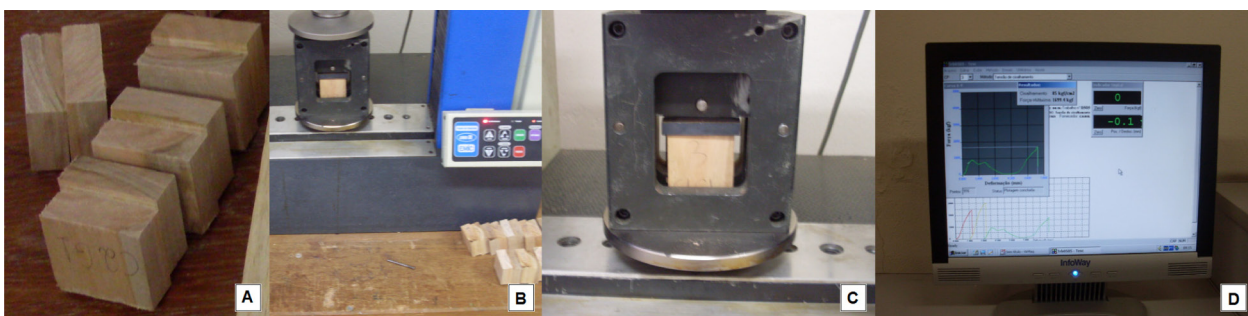


Figura 3. Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola. A – Corpos de prova, B – Máquina de ensaio, C – Corpo de prova em ensaio e D – Resultados do ensaio.

Figure 3. Test of shear strength in the glue line. A - Samples; B - Testing machine; C - Samples in test; and D - Test results.

Tabela 2. Valores médios de teor de extrativos, cinzas, pH e cisalhamento da madeira a 15% de umidade por classe de densidade da madeira.

Table 2. Average values of extractive contents, ashes, pH and wood shear at 15% moisture for wood density class.

Classe de Densidade	Extrativos (%)	Cinzas (%)	pH	Cisalhamento (MPa)
I	5,62 a (2,52)	0,50 a (11,31)	4,20 a (0,21)	10,67 b (20,38)
II	5,79 a (1,23)	0,27 a (5,24)	4,11 a (0,18)	13,79 a (14,38)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%)

Tabela 3. Classificação da resistência ao cisalhamento em madeira sólida e na linha de cola.

Table 3. Classification of shear strength in solid wood and in glue line.

Esforço de Cisalhamento (MPa)	Critério de Classificação
< 4,0	Muito baixo
4,0 – 8,5	Baixo
8,6 – 12,0	Mediano
12,1 – 17,5	Alto
> 17,5	Muito Alto

Fonte: Vargas (1987), citado por Acosta; Pérez (2011).

Os resultados das análises químicas da madeira indicaram que não existe diferença significativa entre os teores de extrativos e cinzas e também entre o pH das madeiras das classes I e II. Segundo Albuquerque, Iwakiri e Keinert Junior (2005) estas são as características químicas que mais se relacionam à qualidade da colagem da madeira, podendo influenciar desde o tempo de cura do adesivo até a resistência da colagem. Como não houve diferença entre os teores destes parâmetros relativos à composição química do material utilizado, é possível afirmar que o efeito causado pela constituição química na qualidade da colagem foi nulo entre as classes de densidade.

Foelkel (2013) citou em seu estudo, sobre a fabricação de celulose de mercado a partir da madeira de eucalipto, valores médios da composição química desta madeira de eucalipto variando de 1,5% a 6,0% para extrativos e 0,3 a 1,0% para cinzas, sendo compreendidos nestes intervalos os valores observados para a madeira avaliada neste estudo.

Os valores encontrados para o pH nos resíduos foram abaixo de 5 para ambas as classes de densidade, o que segundo Campos e Lahr (2007) está na faixa esperada para a maioria das espécies. Os autores afirmam que as variações de pH e a capacidade tampão afetam diretamente a cura e a solidificação do adesivo, uma vez que estes processos ocorrem somente em faixas relativamente estreitas de pH.

Resistência ao cisalhamento na linha de cola

O teor de sólidos do adesivo utilizado neste estudo foi de 61,36%, e foram observadas que as médias para a resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola diferiram entre as classes de densidade, com valores superiores para a classe I (Tabela 4). Em relação classificação apresentada na Tabela 3 realizada de acordo com Vargas (1987), citado por Acosta; Pérez (2011), a classificação foi mediana para a classe I e baixa para a II, quanto a resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Tabela 4. Valores médios de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola por classe de densidade da madeira a 15% de umidade.

Table 4. Average values of shear strength by compression in the glue line for class of wood density at 15% moisture.

Classe de Densidade	Cisalhamento na Linha de Cola (MPa)
I	9,59 a (44,68)
II	6,96 b (63,30)

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%)

A variação encontrada nos resultados, apontada pelos altos valores de coeficiente de variação neste estudo, pode ser explicada por vários fatores relacionados às características das madeiras utilizadas em cada estudo, como a variabilidade anatômica da madeira, associada à densidade e à sua porosidade, que influenciam a formação da ligação adesiva (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Justificada a influência da densidade e da porosidade da madeira na formação da ligação adesiva, ressalta-se que os melhores resultados observados na resistência na linha de cola para CI podem estar associados à relação de menor densidade a maior porosidade, o que permite melhor penetração do adesivo na madeira, que por consequência, pode aumentar a resistência na linha de cola.

Segundo a ASTM (2005) o valor médio de resistência ao cisalhamento da junta colada deve ser no mínimo 60% do valor obtido para a madeira sólida, ou seja, 6,40 MPa para CI e 8,27 MPa para CII. Em conformidade com o determinado por esta norma, encontram-se nestas condições, apenas as juntas coladas formadas por resíduos madeireiros a partir da madeira de eucalipto pertencentes à classe de densidade I (entre 0,50 e 0,65 g.cm⁻³).

Lima et al. (2008) em seu estudo para madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* coladas com adesivo a base de ureia formaldeído, com gramatura de 250 g.m⁻² e pressão de 12 kgf.cm⁻², encontraram valores de 7,92 MPa e 9,98 Mpa, respectivamente, para a resistência na linha de cola. A classe I obteve valores superiores ao *Eucalyptus urophylla* e inferiores ao obtido pelo *Eucalyptus camaldulensis*, já a classe II atingiu valor de resistência inferior para as duas espécies estudadas pelos autores citados.

Motta (2010) e Martins (2011) obtiveram valores superiores aos atingidos pelas duas classes de densidade testadas neste estudo. Motta (2010) realizou a colagem da madeira de *Tectona grandis* com adesivo à base de ureia formaldeído e obteve valor de resistência igual a 10, 69 Mpa, a gramatura de 300 g.m⁻² e pressão de 12 kgf.cm⁻². Já Martins (2011) ao trabalhar com madeira de *Eucalyptus benthamii*, obteve para os adesivos à base de PVAc e de poliuretano, respectivamente, os valores de resistência ao cisalhamento de 11,4 MPa e 10,72 Mpa, para ambos utilizando gramatura de 200 g.m⁻² e pressão de 10 kgf.cm⁻².

Verificou-se na análise fatorial que a interação entre a classe de densidade básica e a gramatura do adesivo foi significativa para a resistência na linha de cola. Para a observação do comportamento da resistência ao cisalhamento na linha de cola em função da gramatura do adesivo, o desdobramento das médias das densidades da madeira em cada gramatura do adesivo foi realizado e determinada a média da resistência ao cisalhamento

na linha de cola para cada tratamento. Na Tabela 5 constam os valores médios de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola.

Os maiores valores de cisalhamento foram encontrados para ambas as classes de densidade na gramatura de 350 g.m⁻², não diferindo entre si. Nas gramaturas de 150 e 200 g.m⁻² a classe de densidade I obteve valores de cisalhamento superiores aos obtidos pela classe de densidade II. Isto pode ser explicado pela razão de que madeiras com menor densidade possuem maior porosidade, o que favorece a penetração do adesivo nas peças e a formação da ligação madeira-adesivo. Apesar das maiores gramaturas empregadas (250, 300 e 350 g.m⁻²) possuírem valores absolutos superiores nas peças de menor densidade, as médias dos valores de cisalhamento não obtiveram variação estatística entre as duas classes de densidade.

Para a observação do comportamento da resistência ao cisalhamento na linha de cola em função da densidade da madeira o desdobramento das médias das gramaturas em cada classe de densidade foi realizado e o comportamento é ilustrado na Figura 4.

Pela análise do comportamento do cisalhamento na linha de cola em função da gramatura do adesivo na Figura 4, observou-se que para a gramatura de 350 g.m⁻² foram encontrados os maiores valores de resistência para ambas classes de densidade empregadas.

A transição entre as gramaturas de 150 e 200 g.m⁻² foi semelhante em CI e CII, com redução da resistência quando se aumentou a gramatura. Porém, em CI, a redução foi mais abrupta quando comparada a CII. Também nas gramaturas de 200, 250, 300 e 350 g.m⁻² o comportamento das classes de densidade foi de modo semelhante, com aumento da resistência quando aumentada a gramatura até o valor de 350 g.m⁻².

Os valores de resistência da linha de cola para CI em todas as gramaturas avaliadas atenderam o requisito de serem maiores que 60% da resistência ao cisalhamento observada na ma-

Tabela 5. Resistência ao cisalhamento na linha de cola conforme classes de densidade da madeira para cada gramatura do adesivo

Table 5. Shear strength in the glue line according to wood density classes for each amount of adhesive.

Classes de Densidade	Resistência ao Cisalhamento (MPa)				
	Gramaturas do Adesivo (g.m ⁻²)				
	150	200	250	300	350
I	11,71 a (26,48)	8,36 a (33,46)	9,17 a (34,34)	10,49 a (28,37)	13,66 a (34,38)
II	4,11 b (63,98)	4,09 b (35,92)	7,44 a (31,45)	8,44 a (37,44)	13,12 a (38,75)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

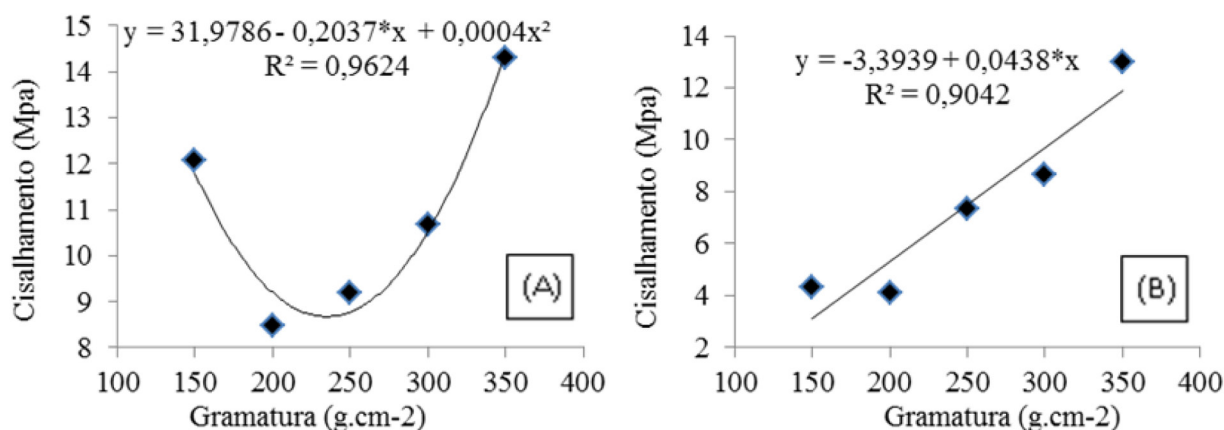


Figura 4. Comportamento da resistência ao cisalhamento na linha de cola para as classes de densidade da madeira I (A) e II (B).

Figure 4. Behavior of shear strength in the glue line for wood density classes I (A).

deira sólida. Para a CII este requisito apenas foi atendido para as peças coladas com gramaturas de 300 e 350 g.m⁻².

Falha na madeira

As classes de densidade I e II obtiveram comportamentos diferentes quanto aos valores médios de falha na madeira, a classe I teve valores superiores quando comparada à classe II (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de falha na madeira para cada classe de densidade da madeira.

Table 6. Mean values of wood failure for each wood density class.

Classe de Densidade	Falha na Madeira (%)
I	39,70 a (0,71)
II	11,37 b (9,99)

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

A diferença nos valores de falha na madeira encontrados entre as classes de densidade possui como uma das justificativas a diferença entre a porosidade das madeiras que formaram as juntas coladas de cada classe, sendo a densidade diretamente ligada à permeabilidade e a porosidade destas peças (CARNEIRO; VITAL; PEREIRA, 2007). Maiores porosidades facilitam o ancoramento do adesivo na madeira, ou seja, a penetração deste dentro das cavidades e poros da madeira, o que permite aumento da adesão pela ligação mecânica e consequente, aumento na falha da madeira.

Por meio da análise dos dados foi possível observar que a colagem dos resíduos de madeira de *Eucalyptus* sp. teve qualidade da junta colada

satisfatória, apesar de menores valores de falha na madeira, quando comparada a outros estudos. Ambas classes de densidade tiveram valores de falha na madeira abaixo ao obtido por Motta (2010) que atingiu 90% de falha na madeira para a madeira de *Tectona grandis* colada com adesivo à base de ureia formaldeído e Lima et al. (2008) que alcançaram 67% para *Eucalyptus urophylla* e 43% para *Eucalyptus camaldulesis*, ambos colados com ureia formaldeído. Já Martis et al. (2013) para *Eucalyptus benthamii* por meio de colagem com adesivo PVAc obteve 95,1% e com adesivo poliuretano (PUR) 78,9% de falha na madeira.

Para a observação do comportamento da falha da madeira em função da gramatura do adesivo o desdobramento das classes de densidade da madeira em cada gramatura do adesivo foi realizada e comparada a média de falha para cada tratamento (Tabela 7) para a madeira proveniente dos resíduos de *Eucalyptus* sp.

Os maiores valores observados para a falha na madeira em CII foram nas gramaturas de 250 e 350 g.m⁻², as quais não tiveram diferença estatística ao observado em CI. Já nas gramaturas de 150, 200 e 300 g.m⁻² os valores observados em CI para falha na madeira foram superiores aos observados em CII.

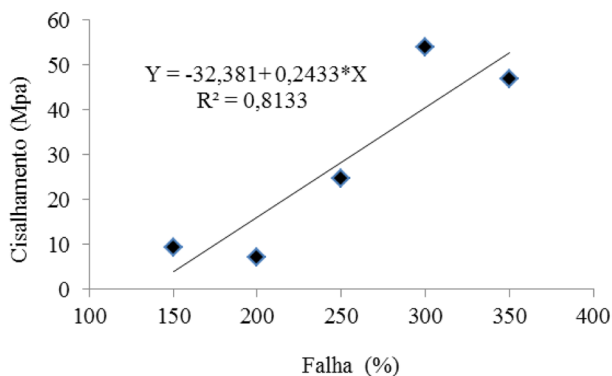
Verificou-se a interação significativa entre a classe de densidade básica e a gramatura do adesivo para a falha da madeira na análise fatorial. Para a avaliação da falha da madeira em função da densidade básica, o desdobramento dos valores das gramaturas em cada classe de densidade foi realizado e consta da Figura 5 para a classe de densidade II, uma vez que não foi significativo o desdobramento dos valores da falha da madeira para a classe I.

Tabela 7. Falha na madeira de resíduos eucaliptos para as classes de densidade da madeira para cada gramatura do adesivo.**Table 7.** Failure on eucalypts waste wood density classes for each amount of adhesive.

Classes de Densidade	Falha na Madeira (%)				
	Gramaturas do Adesivo (g.m-2)				
	150	200	250	300	350
I	53,76 a (14,34)	51,63 a (6,40)	31,12 a (19,43)	60,67 a (9,63)	41,34 a (13,39)
II	3,47 b (63,52)	2,33 b (73,96)	15,52 a (33,78)	21,12 b (39,86)	38,90 a (13,35)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

**Figura 5.** Comportamento da falha na madeira conforme gramatura do adesivo para a classe II de densidade da madeira.**Figure 5.** Behavior of wood failure related to the amount of adhesive for class II of wood density.

Por meio da análise do comportamento da falha na madeira em função da gramatura do adesivo foi possível observar que para a gramatura de 300 g.m⁻² foram encontrados os maiores valores de falha na madeira para CII. Já para CI, a falha da madeira não obteve variações quanto à gramatura do adesivo empregada na colagem das peças.

Assim como o comportamento da resistência ao cisalhamento na linha de cola na classe de densidade II, a falha na madeira teve acréscimo quando aumentada a gramatura.

CONCLUSÕES

Madeiras com densidade igual ou inferior a 0,65g.cm⁻³ (classe I) obtiveram maior qualidade da junta colada, com maiores valores de resistência ao cisalhamento e falha na madeira quando comparadas às formadas por madeiras com densidade superior a 0,65 g.cm⁻³ (classe II).

Os valores mínimos de cisalhamento de acordo com a normatização técnica na linha de cola foram alcançados apenas em juntas formadas por madeiras da CI. No entanto, para a falha na madeira não foram alcançados para nenhuma das classes de densidade avaliadas.

Na gramatura do adesivo de 350 g.m⁻² foram obtidos os melhores resultados de resistência ao cisalhamento da junta colada para ambas as classes de densidade e os melhores resultados para a falha na madeira com densidade superior a 0,65 g.cm⁻³ (classe II).

O uso deste material permite a empresa a redução dos resíduos gerados e geração de lucro, uma vez que o material poderia ser empregado em interiores de portas; formação de peças para a produção de móveis, a exemplo de assentos de bancos e cadeiras e tampos de mesas e formação de painéis decorativos.

A utilização de resíduos de madeira de eucalipto para uso como laminado colado é recomendada para peças de densidade iguais ou menores que 0,65 g.cm⁻³ com uma gramatura de 350 g.m⁻² de adesivo à base de ureia formaldeído.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. José Alberto Sanson Moulin pela doação do material utilizado no estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ABTCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. Normas técnicas ABCP: M 11/77. São Paulo: ABTCP, 1974.

ACOSTA, F. M.; PÉREZ, P. M. Evaluación de una unión laminada con adhesivo tipo PVA y maderas de plantación: *Acacia mangium*, *Tectona grandis* y *Terminalia amazonia*. *Revista Forestal Venezolana*, Mérida, v. 55, n. 2, p.145-153, 2011.

- ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesivos e adesão. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, p.13-42.
- ALBUQUERQUE, C. E. C; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n.1, p. 158-166, 2000.
- ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente** – EGP. 2013. 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-905**: standard test for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. Pennsylvania, 2008. 5 p.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-5751**: adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 2005. 11 p.
- BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 4, n. 26, p. 34-39, 1995.
- BULIGON, E. A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 2011. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Pinus e eucalipto para produção de painéis. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 103, 2007. Disponível em: < <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira/materia.php?num=1054&subject=Paineiss&title=Pinuseeucaliptoparaproducaodepaineis> >. Acesso em: 17 fev. 2014.
- CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua importância na indústria madeireira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Eds.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Vitória: Gráfica Aquarius, 2007, p.99-128.
- CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia formaldeído e de taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.
- DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 2004. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- DIAS, N. A. B. **Aproveitamento de resíduos de Pinus sp. para produção de chapas de partículas de três camadas com utilização de adesivo poliuretano à base de mamona**. 2008. 87 p. Monografia (Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Itapeva, 2008.
- FOELKEL, C. E. B. Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto. In: FOELKEL, C. E. B. **Eucalyptus onlyne book & newsletter**: Cap. 31, jun.2013. Disponível em: <http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT31_ProcessoKraftEucalipto.pdf>. Acesso em: 10 out. 2013
- GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Wild em plantio consorciado com eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 286-295, 2012.
- JANKOWSKY, I. P. Variação da resistência à flexão estática do compensado de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem. **Circular Técnica do IPEF**, Piracicaba, n. 124, p. 1-7, 1980.
- LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 73-77, 2008.
- MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de Eucalyptus benthamii** Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PLC). 2011. 114 p. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2011.

- MARTINS, S. A.; DEL MENEZZI, C. H. S.; FERRAZ, J. M.; SOUZA, M. R. Bonding behavior of *Eucalyptus benthamii* wood to manufacture edge glued panels. *Maderas, Ciencia y tecnología*, Concepción, v. 15, n. 1, p.79-92, 2013.
- MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona grandis* L.f. proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** 2010. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.
- PASSOS, O. S.; LOBO, J. B. A.; VENTURA, O. S. P.; FUJIYAMA, R. T. Estudos preliminares de juntas de madeira-madeira coladas com material polimérico: superfície de fratura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu. *Anais...* São Paulo: IPEN, 2006, p. 8843-8854.
- PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose.** 2005. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R. L. Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. *Cerne*, Lavras, v. 14, n. 3, p. 251-258, 2008.
- REMADE. Trinta princípios da colagem de madeira. *Revista da Madeira*, n. 65, 2002. Disponível em: < http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=192&subject=M%EF%BF%BDv eis+e+Tecnologia&title=Trinta+princ%EF%BF%BD pios+da+colagem+de+madeira > Acesso em: 27 fev. 2014.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 257 om-92: sampling and preparing wood for analysis.** Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1992.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T204: solvent extractives of wood and pulp.** Atlanta: Tappi Press, 1998.

Recebido em 29/07/2013
Aceito para publicação em 16/04/2014