

Recebido: 10-08-2015 Aceito: 08-03-2016

Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de *Pinus* sp. coladas em temperatura ambiente

Fabricio Gomes Gonçalves¹, Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho¹, Luca Ferreira Schayder¹, Vinícius Peixoto Tinti¹, Sabrina Barros Santiago¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil.

RESUMO Este trabalho objetivou avaliar a resistência de madeira de *Pinus* sp. colada com cinco adesivos: ureia formaldeído (UF), tanino formaldeído (TF), acetato de polivinila (PVA), emulsão polimérica de isocianato (EPI) e melamina ureia formaldeído (MUF). Aplicou-se uma gramatura de adesivo de 300 g.m⁻² e pressão de colagem igual a 1,2 MPa (UF: 6 horas e PVA; Tanino: 24 horas; EPI: 3 horas; MUF: 24 horas). Os adesivos foram caracterizados quanto ao pH, densidade, teor de sólidos e viscosidade. Ensaio físicos e mecânicos foram realizados na madeira maciça e nas linhas de cola, não se verificando uma diferença significativa entre o cisalhamento perpendicular aos anéis de crescimento e o cisalhamento paralelo na madeira de *Pinus* sp. A resistência ao cisalhamento na linha de cola com UF e PVA não diferiu significativamente quando comparada com a resistência da madeira sólida. A falha na linha de cola com TF e EPI mostrou resultados inferiores aos adesivos de UF e PVA, indicando uma baixa eficiência e segurança, sendo assim, não indicado para colagem com a madeira de *Pinus* sp.

Palavras-chave: adesivos, junta colada, resistência mecânica.

Shear strength of *Pinus* sp. wood glued at room temperature

ABSTRACT This study evaluated the wood strength of *Pinus* sp. glued with five adhesives: urea formaldehyde (UF), tannin formaldehyde (TF), polyvinyl acetate (PVA), emulsion polymer isocyanate (EPI) and melamine urea formaldehyde (MUF). Adhesive with 300 g.m⁻² weight and initial pressure of 1.2 MPa (UF and PVA: 6 hours; TF: 24 hours; PPE: 3 hours; MUF: 24 hours) was applied. The adhesives were characterized regarding to pH, density, viscosity and solids content. Physical and mechanical tests were performed on solid wood and the glue lines, verifying no significant difference between the shear perpendicular to the growth rings and the parallel shear in wood *Pinus* sp. The shear strength in the glue line with UF and PVA did not differ significantly when compared to solid wood resistance. As a failure, the glue line with TF and EPI showed results lower than the UF and PVA, resulting in low efficiency and safety. Therefore, it is not suitable for gluing with *Pinus* sp. wood.

Keywords: adhesives, glued joint, mechanical strength.

Introdução

Há muito tempo, a madeira é utilizada para fins comuns. A importância desse material não é recente e isso só mostra o quanto é valioso e necessário, pois, sem a madeira como matéria-prima uma gama de produtos não estaria disponível em nosso dia-a-dia, tais como papel, móveis, ferramentas, abastecimento energético, armas, e utensílios domésticos.

Dentre os diversos usos, destacam-se os produtos à base de madeira em que se utiliza adesivo como elemento para

unir peças, principalmente em função do custo de produção. De acordo com Carneiro et al. (2004) e Passos et al. (2006), o uso de adesivos podem representar até 50% do investimento quando comparado à madeira bruta. Em geral, os adesivos empregados na indústria são predominantemente sintéticos (OLIVEIRA; FREITAS, 1995). Esses adesivos têm como elemento principal na sua formulação compostos derivados do petróleo que possuem excelentes propriedades de adesão.

O uso da madeira colada é relevante quando sua transformação a torna um produto de maior valor agregado, principalmente quando há maior aproveitamento da matéria-prima, o que pode contribuir na definição do preço final do produto. Este melhor aproveitamento deve ser avaliado sobretudo quanto a qualidade e a durabilidade do produto acabado.

Uma utilização adequada de produtos à base de madeira colada deve ser regida pelo mecanismo da adesão, sendo este dependente de algumas propriedades tecnológicas da madeira (físicas, químicas e mecânicas), as quais contribuem para uma efetiva união entre duas superfícies. Boa et al. (2014) em estudo com colagem a frio de madeira de eucalipto em diferentes gramaturas (150, 200, 250, 300 e 350 g.m⁻²) encontraram para madeira de menor massa específica os melhores resultados na qualidade da colagem, destacando-se a gramatura de 350 g.m⁻² com melhores valores de resistência na linha de cola (13,12 MPa). Follrich et al. (2007) relataram que a estabilidade mecânica das juntas coladas é influenciada também pela superfície da madeira, especialmente pela rugosidade superficial após sua usinagem para receber o adesivo.

A formação da linha de cola e a qualidade da ligação adesiva depende (i) das propriedades químicas do adesivo e da madeira (capacidade tampão e viscosidade, por exemplo); (ii) das propriedades físicas e estruturais do adesivo; (iii) das propriedades físicas e estruturais da madeira (propriedades mecânicas, densidade e porosidade, por exemplo) (FOLLRICH et al., 2007). Também são fatores que podem influenciar na colagem, o tipo de adesivo, o tempo de cura e a pressão de colagem (NASCIMENTO et al., 2013).

A resistência ao cisalhamento de juntas coladas com PVA e UF foi avaliada por Nascimento et al. (2013) em quatorze diferentes espécies. Dentre as espécies estudadas, apenas cinco (tatajuba, garapa, jatobá, cumaru e parajú) não atingi-

ram os valores de porcentagem de falhas na madeira requeridos (60%) pela norma ASTM 3110. Também foi observado que os valores médios de resistência na linha de cola do PVA foram superiores em comparação ao material colado com o adesivo UF.

Lima et al. (2008) avaliaram a qualidade da colagem em madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* com idade de 14 anos, mediante o uso de três adesivos comerciais (PVA, UF e resorcinol formaldeído (RF)). Avaliaram a resistência ao esforço de cisalhamento na linha de cola e a porcentagem de falha na madeira. Os autores afirmaram que a madeira colada com adesivo UF apresentou a maior porcentagem de falha na madeira (61,23%) e valores médios de resistência da ordem de 8,43 MPa. Segundo os autores, este fato pode ser atribuído à adição do catalisador cloreto de amônio.

A confecção de juntas coladas torna-se necessária para obtenção de peças de dimensões demandadas pelo mercado ou mesmo para a eliminação de alguns defeitos na madeira, como a presença de nós. Há também a necessidade em se avaliar o comportamento de juntas coladas com diferentes adesivos em espécies diferentes, adequadas para cada tipo de adesivo e produto final desejado, visando uma redução do custo final.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo estudar o comportamento da linha de cola mediante a utilização de cinco adesivos, comparando-a com a resistência mecânica natural da madeira de *Pinus* sp..

Material e Métodos

Origem e preparo inicial da madeira

Utilizou-se neste trabalho três tábuas da madeira de *Pinus* sp. adquiridas em comércio na região sul do estado do Espírito Santo, nas dimensões de 25 a 30 cm de largura e 2,5 cm

de espessura, isentas de preservativos químicos e defeitos aparentes. As tábuas foram armazenadas por 3 meses para secagem natural em local protegido de intempéries.

Após secas, as tábuas foram desdobradas a fim de obter lamelas com dimensões de 19 x 60 x 31 mm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, para a produção das juntas coladas, as quais foram posteriormente condicionadas em sala com temperatura de 25°C e umidade relativa de 60%. Após esta etapa, procedeu-se o preparo dos corpos de prova e execução dos testes de resistência mecânica da madeira e resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira

A partir das tábuas, foram confeccionados corpos de prova para determinação da umidade, a qual seguiu-se a recomendação da Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997), com pequenas modificações nas dimensões e quantidades de corpos de prova. As dimensões foram de 2 x 2 x 3 cm (espessura, largura, comprimento, respectivamente), totalizando 12 amostras obtidas aleatoriamente a partir das três tábuas.

A densidade básica foi determinada a partir da média de 20 corpos de prova, obtidos de forma aleatória nas tábuas utilizadas no estudo, de acordo com a norma NBR 11941 (ABNT, 2003).

Parte do material foi seccionado para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo e perpendicular de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), com pequenas modificações, uma vez que a espessura das tábuas não permitia a dimensão exigida na norma. Foram obtidos 76 corpos de prova nas dimensões de 1,6 x 1,6 x 2,0 cm (espessura, largura e comprimento,

respectivamente), sendo 38 para o cisalhamento paralelo e 38 para o cisalhamento perpendicular, conforme ilustrado na Figura 1.

Os ensaios de cisalhamento da madeira maciça foram utilizados como referência para comparações entre os valores obtidos neste ensaio e no ensaio de resistência na linha de cola.

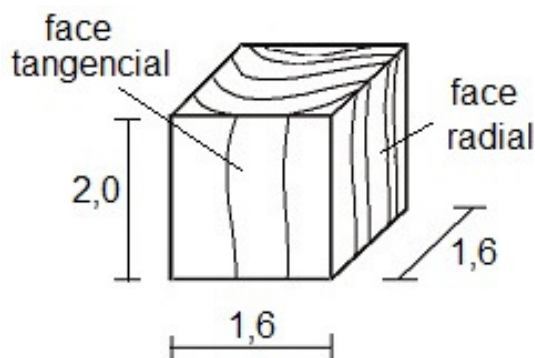


Figura 1. Esboço do corpo de prova utilizado para o ensaio de cisalhamento perpendicular e paralelo aos anéis de crescimento. Medidas em cm.

Figure 1. Illustration of the specimen used in shear strength parallel and perpendicular to the growth rings tests. Dimensions in cm.

Caracterização dos adesivos

Determinou-se as seguintes propriedades físico-químicas dos adesivos: teor de sólidos, o pH, a viscosidade (Cp) e a densidade.

Preparo da cola, colagem e ensaios tecnológicos

Um total de cinco adesivos foram utilizados neste trabalho: poliacetato de vinila (PVA), tanino formaldeído (TF), ureia formaldeído (UF), melamina ureia formaldeído (MUF) e emulsões poliméricas de isocianato (EPI). Em relação aos adesivos UF e PVA, por apresentarem uma linha de cola clara e transparente, optou-se por utilizar um corante (anilina) para facilitar a identificação da porcentagem de falhas. O TF utilizado foi uma solução a 45% com água destilada e 20% de

formaldeído sobre o teor de sólidos como catalisador. Os demais adesivos foram preparados conforme indicação do fabricante.

Para a colagem, as lamelas receberam uma gramatura de adesivo de 300 g.m⁻² em linha dupla, distribuídos por meio de uma espátula, conforme procedimento adotado por Boa et al. (2014). Adotou-se a colagem das lamelas respeitando a face tangencial (Figura 2).



(A) (B) (C)

Figura 2. (A) Lamelas de madeira de *Pinus* sp.; (B) Espalhamento do adesivo com corante anilina; (C) peças unidas com adesivo.

Figure 2. (A) *Pinus* sp. wood pieces; (B) adhesive application with aniline; (C) pieces joined with adhesive.

Posteriormente, as lamelas foram prensadas a frio em prensa hidráulica manual com pressão igual a 1,2 MPa. Para cada adesivo, utilizou-se tempo de prensagem recomendado pelo fabricante: 6 horas para o PVA e UF, 3 horas para o EPI e MUF, e 24 horas para o TF, este último conforme trabalho realizado por Teodoro e Lelis (2005). As juntas coladas e prensadas foram então dispostas em câmara climatizada a 20°C e 65% umidade relativa por um período de 15 dias para estabilização.

A partir das juntas coladas, confeccionou-se 20 corpos de prova para cada adesivo utilizado, de acordo com norma “American Society for Testing and Materials” – ASTM D905-08 (ASTM, 2013), sendo os ensaios de resistência ao cisalhamento na linha de cola realizados em máquina universal de ensaios, com tomada automática de dados.

O percentual de falha na madeira foi obtida pelo método descrito pela norma D5266-99 (ASTM, 2013) por meio de

uma película transparente quadriculada disposta sobre a área colada cisalhada.

Análise estatística dos dados

Realizou-se o teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade das variâncias ($p < 0,01$) e o teste de Shapiro-Wilk para a normalidade dos dados (falha na madeira). Os dados de falha da madeira foram transformados em arco seno raiz ($x+1$). O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado, sendo: 7 (sete) tratamentos para a avaliação da resistência na linha de cola, 5 (cinco) tratamentos para a avaliação da falha na madeira, e 2 (dois) tratamentos para a resistência ao cisalhamento da madeira sólida; submetendo-os à análise de variância. Detectando-se haver diferença entre os tratamentos a 95% de nível de confiança, aplicou-se teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para a comparação das médias.

Resultados e Discussão

Propriedades físicas e mecânicas da madeira e dos adesivos utilizados

Com relação às amostras de *Pinus* sp. a densidade não teve grandes variações entre si, observando-se uma média de 0,46 g.cm⁻³ e desvio padrão de 0,04 g.cm⁻³. Essa variação é natural e ocorre pelo fato da madeira ser um material heterogêneo (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades física e mecânica na madeira sólida de *Pinus* sp.

Table 1. Physical and mechanical properties of *Pinus* sp wood.

| Umidade (%) | Densidade (g.cm ⁻³) | Cisalhamento na madeira sólida (MPa) | |
|-------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| | | Paralelo | Perpendicular |
| 13,46 | 0,46 (7,94) | 7,77 ^a (24,40) | 8,08 ^a (19,71) |

* valores entre parênteses são os coeficientes de variação (CV). Letras iguais não diferem estatisticamente ($p>0,05$).

Não houve diferença estatística entre a resistência perpendicular e paralela na madeira de *Pinus* sp. (Tabela 1), com valores de dispersão medianos ($15<CV<30$). O valor médio da resistência ao cisalhamento da madeira estudada foi inferior ao estudo da madeira de *Pinus merkusii* (BORTOLETTO JÚNIOR, 2008) e superior ao estabelecido para coníferas de acordo com a NBR 7190 (1997) que está entre 4 a 6 MPa. Os valores de cisalhamento na madeira encontrados estão muito próximos daqueles encontrados por Nascimento et al. (2001) para as espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

A obtenção do cisalhamento é, de acordo com Baêta e Sartor (1999), extremamente importante, principalmente quando se trata de elementos estruturais, sendo o cisalhamento perpendicular aquele que menos apresenta problemas quando se exige forças nas peças. Por outro lado, o cisalhamento paralelo proporciona deslizamentos de fibras, sendo sua determinação frequentemente verificada.

Analisando a Tabela 2, nota-se algumas características marcantes, tais como para a viscosidade. A UF apresentou valor muito superior aos demais, provocado pelo tempo de armazenamento (ainda na validade) ou ainda pelo alto teor de sólidos, conforme sugerido por Gonçalves; Lelis (2009).

Uma baixa viscosidade facilita a pulverização de uma resina. Por outro lado, uma viscosidade maior que 1500 Cp, dificulta a sua aplicabilidade em meios que há necessidade de micro partículas (Gonçalves e Lelis, 2009). A viscosidade é a capacidade que um fluido possui de se movimentar sobre uma superfície qualquer, logo, pelo fato da UF apresentar maior viscosidade, foi necessário a utilização de uma espátula. Em relação ao TF, com menor viscosidade entre os quatro adesivos utilizados, ocorreu uma maior fluidez sobre a super-

fície da madeira, facilitando seu espalhamento. A UF mostrou-se superior também em relação ao teor de sólidos totais. Os quatro adesivos apresentaram densidades semelhantes.

Tabela 2. Propriedades físicas e químicas dos adesivos utilizados.

Table 2. Physical and chemical properties of the adhesives.

| Adesivo* | Propriedades | | | |
|----------|---------------------------------|-----------|---------------------|------------------|
| | Densidade (g.ml ⁻¹) | pH (25°C) | Teor de Sólidos (%) | Viscosidade (Cp) |
| UF | 1,39 | 8,03 | 64,24 | 724.182 |
| TF | 1,23 | 3,26 | 46,34 | 503 |
| PVA | 1,08 | 2,53 | 48,73 | 2.719 |
| EPI | 1,13 | 7,75 | 46,81 | 11.500 |
| MUF | 1,33 | 9,70 | 67,40 | 10.861 |

*UF: Ureia formaldeído; TF: Tanino formaldeído; PVA: Poli-acetato de vinila; EPI: Emulsão polimérica de isocianato; MUF: Melamina ureia formaldeído.

Teste de resistência ao cisalhamento na madeira e na linha de cola

Observa-se que o PVA, a UF e a MUF não diferiram estatisticamente entre si, indicando melhor resistência que os demais adesivos. A resistência a linha de cola proporcionada pela UF e pela MUF tiveram um comportamento estatisticamente igual à madeira de *Pinus* sp. Já o cisalhamento paralelo e perpendicular da madeira foi estatisticamente inferior à colagem com a MUF (Figura 3).

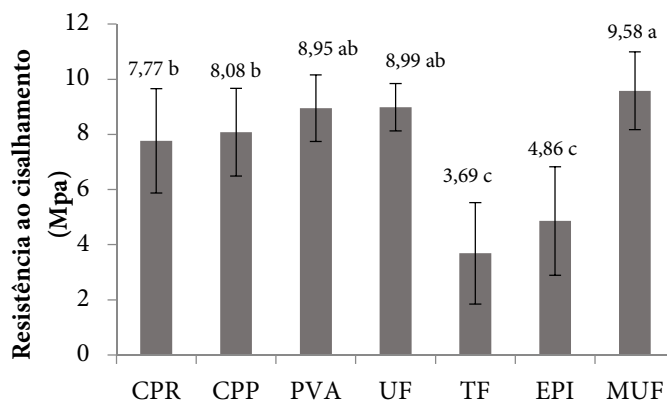


Figura 3. Valores médios para a resistência ao cisalhamento paralelo (CPR) e perpendicular (CPP) aos anéis de crescimento na madeira de *Pinus* sp. e na linha de cola para cada adesivo e respectivos desvios. PVA: poliacetato de vinila; UF: ureia formaldeído; TF: tanino formaldeído; EPI: emulsões poliméricas de isocianato; MUF: melamina ureia formaldeído. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Figure 3. Shear strength in parallel (CPR) and perpendicular (CPP) to the growth rings in the wood of *Pinus* sp., and the glue line and their standards deviations for each adhesive. PVA: vinyl polyvinyl acetate; UF: urea formaldehyde; TF: tannin formaldehyde; EPI: emulsion polymer isocyanate; MUF: melamine urea formaldehyde. Means with the same letter aren't statistically different at 5% significance Tukey test. Means with the same letter aren't statistically different at 5% significance Tukey test.

A resistência ao cisalhamento na linha de cola para os adesivos PVA, UF e MUF foi estatisticamente igual, indicando que sua utilização deve ser em função do local de uso, especificamente para a umidade local. Almeida et al. (2004) também obtiveram resultado semelhante na colagem de lâminas para compensados com os adesivos PVA e UF, com resultados mais expressivos para o PVA. Ferreira et al. (2012) mencionaram que o PVA pode se tornar uma boa alternativa de substituição aos adesivos convencionais como a UF, pelo menos para uso em que o cisalhamento é exigido, sobretudo devido ao seu baixo custo.

De acordo com a norma americana ASTM D-5751 (2005), o valor médio de resistência ao cisalhamento pela junta colada deve ser de pelo menos 60% do valor obtido para o ensaio da madeira sólida, que nesse caso seria de 4,66 MPa. A ligação adesiva com TF não atingiu o mínimo de segurança estipulado, sendo isso devido à linha de fuga elevada proporcionada pela baixa viscosidade do adesivo utilizado.

O EPI apresentou valor de resistência ao cisalhamento no limite estipulado pela norma. Isto pode estar associado a uma série de fatores, como o pH do adesivo estar mais próximo do alcalino. A inexistência de pontes de hidrogênio disponíveis

para promover a ligação do adesivo e a madeira podem ter contribuído para esta fraca resistência.

As propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira possuem um nítido efeito na colagem, em especial a densidade e a porosidade (CARNEIRO et al., 2007), as quais oscilam no lenho inicial e tardio, no cerne e alborno, no lenho juvenil e adulto. Kollmann et al. (1975) mencionaram que o comportamento da colagem é diferente entre madeira de folhosa e conífera. Albuquerque et al. (2005) também corroboraram com este conceito, afirmando que em madeiras de menor densidade, por ocorrer maior penetração do adesivo, há uma menor formação de tensões na linha cola promovida por possíveis mudanças no conteúdo de umidade na peça colada. A densidade encontrada está na faixa para o gênero *Pinus*, sendo maior em árvores de idade mais avançada.

Teodoro; Lelis (2005) mencionaram que peças de madeira unidas com o adesivo a base de TF proporcionaram boa resistência ao cisalhamento na linha de cola para madeira de cedrinho (valor médio de 5,56 MPa), os quais foram superiores ao valor do presente estudo (3,69 Mpa). Isto se deve as características anatômicas da madeira utilizada, o que permitiu uma melhor ancoragem do adesivo, apesar da densidade ligeiramente superior ($0,55 \text{ g.cm}^{-3}$) em relação ao *Pinus* sp. ($0,46 \text{ g.cm}^{-3}$) Madeiras de densidades mais elevadas apresentam ancoragem prejudicada se comparado com madeiras menos densas (Marra, 1992). Isso explica-se pelo fato de que em uma madeira mais densa há uma menor penetração da cola, bem como uma maior perda de cola pelas bordas da peça a ser colada, proporcionando uma linha de cola de pior qualidade de adesão. Possivelmente, foi o que aconteceu com o adesivo a base de tanino, proporcionado pela baixa viscosidade utilizada.

Brady; Kamke (1988) mencionaram que a profundidade da penetração do adesivo é determinada pelo tamanho da re-

gião de interface madeira-adesivo. Albino et al. (2010) também mencionaram que o fenômeno interfacial entre a madeira e o adesivo depende de uma série de fatores (anatomia, química e física da madeira; propriedades químicas e físicas do adesivo; e do processo adotado durante a colagem). Alguns destes fatores são facilmente alterados, como o pH do próprio adesivo. Um baixo pH do adesivo é fator preponderante para uma boa colagem, uma vez que o pH da madeira tende a apresentar um caráter ácido. No presente estudo, os valores de resistência do TF, apesar de apresentarem-se menos ácidos do que o PVA, proporcionaram uma ancoragem de menor resistência.

Além do comportamento ácido da madeira, Vick (1999) também mencionou que quando se utiliza adesivos do tipo PVA há uma perda de água da película adesiva na formação da junta da madeira, proporcionando um umedecimento inicial e uma melhor penetração na madeira. Dessa maneira, ao perder água de sua composição, a sua estrutura química se funde formando uma linha de cola homogênea e contínua.

Segundo Hillig et al. (2002), os adesivos à base de tanino têm boa resistência à água e são mais baratos que as colas à base de fenol. De modo geral, entende-se com isso que o tanino formaldeído está em uma posição intermediária entre as colas a base de ureia e fenóis, tanto na resistência a umidade quanto na questão do custo de aquisição.

O comportamento de juntas coladas em madeira de eucalipto foi avaliado por Plaster et al. (2008) mediante uso de acetato de polivinila, indicando resultados satisfatórios. No entanto, os autores afirmaram que a densidade da madeira influenciou de forma negativa nos resultados de colagem.

Ferreira et al. (2012) mencionaram que, devido ao fato da plasticidade do PVA, quando solicitado um esforço de cisalhamento, pode haver uma melhor absorção da deformação

plástica, conseguindo assim melhores resultados de resistência mecânica. Esta informação corrobora com o observado neste estudo.

Falha na linha de cola

Os tratamentos demonstraram diferenças significativas entre si, com menor relevância nas colas de TF e EPI, que apresentaram porcentagens altas de rompimento na linha de cola, 93,40% e 70,05% respectivamente. Este fato ilustra maior insegurança nestes adesivos que os demais, quanto a resistência ao cisalhamento para a colagem de madeira sólida de *Pinus* sp. (Figura 4).

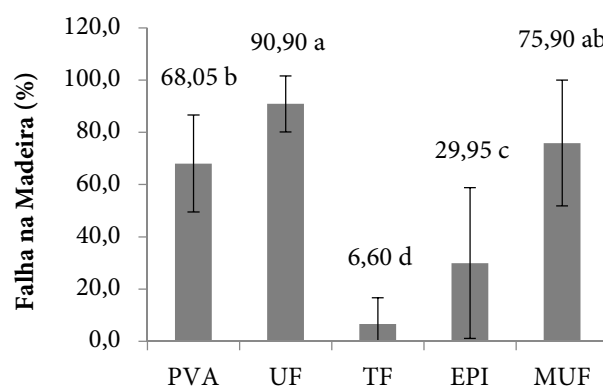


Figura 4. Valores médios para a falha na madeira e respectivos desvios para os adesivos estudados. PVA: poliacetato de vinila; UF: ureia formaldeído; TF: tanino formaldeído; EPI: emulsões poliméricas de isocianato; MUF: melamina formaldeído. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si a 1% de significância pelo teste de Tukey.

Figure 4. Mean values of wood failure and their standards deviations for each adhesive. PVA: vinyl polyvinyl acetate; UF: urea formaldehyde; TF: tannin formaldehyde; EPI: emulsion polymer isocyanate; MUF: melamine urea formaldehyde. Means with the same letter aren't statistically different at 1% significance Tukey test.

Todos os adesivos apresentaram resultados esperados se comparados com os resultados de resistência ao cisalhamento na linha de cola. Em ordem numérica decrescente de resistência, encontra-se a UF seguida pela MUF, PVA, EPI e o TF.

Na literatura existem trabalhos que apontam resultados em porcentagens semelhantes para a falha na madeira em elementos colados. Plaster et al. (2012) encontraram 95,95% para o PVA em madeira de *Eucalyptus* sp.. Lopes et al. (2013) encontraram valores médios de 38% para PVA e 45,10% para EPI em peças coladas na face tangencial de madeira de *Pinus taeda*. Motta et al. (2014) encontraram para o PVA valores variando de 90% e 85% de falha na madeira de teca para a ureia formaldeído e o adesivo PVA, respectivamente.

Levando em conta os adesivos utilizados, apenas a UF, o PVA e a MUF superam o valor de 60% de rompimento na madeira, o qual é recomendado pela ASTM D-5751 (2005).

A alteração na formulação da solução de tanino, além de um aumento de sólidos e, conseqüentemente, um aumento da viscosidade, poderia contribuir para aumentos significativos nos valores de resistência ao cisalhamento. A utilização de uma solução de tanino a 50% também poderia ser uma alternativa para este aumento, haja vista o baixo valor para a resistência na linha de cola (6,60%).

Conclusões

Com base nos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

A união de peças coladas com poliacetato de vinila, ureia formaldeído e melamina ureia formaldeído demonstraram-se satisfatórias;

A solução de tanino de 50% não é recomendada para colagem de madeira de pinus;

O adesivo de emulsão polimérica de isocianato não apresentou resistência mínima ao cisalhamento quando comparado à madeira sólida.

Referências

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**, v. 38, n. 87, p. 509-516, 2010.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesão e Adesivos. In: IWAKIRI, S. (Org.). **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. cap. 1, 254p.

ALMEIDA R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JAMKOWSKY I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 14-24, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-5266-13**: Standard Practice for Estimating the Percentage of Wood Failure in Adhesive Bonded Joints. West Conshohocken, PA, 2013. 8p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-5751**: Adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. West Conshohocken, PA, 2005. 11p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-905-08**: Standard test for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. West Conshohocken, PA, 2013. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BAÊTA, F. C.; SARTOR, V. **Resistências dos materiais e dimensionamento de estruturas para construções rurais**. Viçosa: Editora UFV, 1999. 46 p.

BOA, A. C.; GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S. O.; PAES, J. B.; ARANTES, M. D. C. Resíduos madeireiros de eucalipto colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 279-288, 2014.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii*. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 79, p. 237-243, 2008.

- BRADY, D. A.; KAMKE, F. A. Effects of hot-pressing parameters on resin penetration. **Forest Products Journal**, v. 38, n. 11/12, p. 63-68, 1988.
- CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua importância na Indústria Madeireira. In: OLIVEIRA, J. T. S. O.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro**. Vitória: Aquarius, 2007. 302p.
- CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de uréia-formaldeído e de taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.
- FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I.; SILVA, M. S.; VALARELLI, I. D. Cisalhamento na linha de cola de compensados de *Eucalyptus* sp. e adesivo PVA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 141-146, 2012.
- FOLLRICH, J.; TEISCHINGER, A.; GINDL, W.; MÜLLER, U. Effect of grain angle on shear strength of glued end grain to flat grain joints of defect-free softwood timber. **Wood Science and Technology**, v. 41, p. 501-509, 2007.
- GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. **Floresta e Ambiente**, v. 16, n. 2, p. 01-07, 2009.
- HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.
- KOLLMANN, F. F. P.; KUENZL, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2. 703p.
- 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**, v. 36, n. 77, p. 73-77, 2008.
- LOPES, M. C.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; TANOBE, V. O. A.; CHINASSO, C. A. F.; ROSSO, S. Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. **Cerne**, v. 19, n.4, 2013.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.
- MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C.; VIDAURRE, G. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 615-621, 2014.
- NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 593-601, 2013.
- NASCIMENTO, A. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M. Classificação e propriedades da madeira de pinus e eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n.1, p. 27-35, 2001.
- OLIVEIRA, J. T. S.; FREITAS, A. R. **Painéis a base de madeira**. São Paulo: EPUSP. 1995. 41p.
- 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.
- PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R. L. Comportamento de juntas coladas na madeira serrada de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 251-258. 2008.
- PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; GONÇALVES, F. G.; MOTTA, J. P. Comportamento de adesão da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* proveniente de três condições de manejo. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 323-330, 2012.
- TEODORO, Â. S.; LELIS, R. C. C. Colagem de madeira sólida com adesivo natural à base de tanino. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, Seropédica, RJ: EDUR, v. 25, n. 1, p. 55-59. 2005.
- VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials**. Forest Products Laboratory. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL—GTR— 113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. cap.9, 463p.