Influência de diferentes composições de lâminas de
Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby
e *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* (Schiede ex Schltdl) para produção de
compensados multilaminados

Influence of different structural compositions of *Schizolobium parahyba*
var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby and *Pinus oocarpa* var.
oocarpa (Schiede ex Schltdl) for multi-laminated plywood production

Antonio Claret de Matos¹, José Benedito Guimarães Júnior¹,
Cilene Cristina Borges¹, Lays Camila Matos¹, Juliana Ceccato Ferreira²
e Lourival Marin Mendes¹

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de compensados multilaminados confeccionados com madeira de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa*, com utilização de diferentes tipos de adesivos. Os compensados foram produzidos com cinco lâminas, obedecendo a laminação cruzada, variando-se as camadas de lâminas, entre as espécies de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa*. Também foram avaliados os adesivos ureia formaldeído e fenol formaldeído (150g/m²). O ciclo de prensagem utilizado foi o de pressão 0,98 MPa; temperatura de 150°C e tempo de prensagem igual a 10 minutos. Foram feitas análises de densidade básica e composição química da madeira para ambas as espécies. Para os painéis, foram feitas análises físicas de densidade aparente, umidade de equilíbrio e absorção de água. Para determinação das propriedades mecânicas foram feitos ensaios de flexão paralela e perpendicular às fibras, bem como ensaio de cisalhamento na linha de cola. Os resultados dos ensaios físicos dos compensados analisados demonstraram que há interferência de cada espécie de madeira, bem como do adesivo, sobre as propriedades físicas de densidade aparente e umidade de equilíbrio dos painéis. Os valores médios de absorção de água encontrados neste trabalho não apresentaram diferença estatística entre si. Os resultados do ensaio de flexão, tanto paralela quanto perpendicular às fibras, mostram influência da estrutura das lâminas sobre os resultados de MOE e MOR obtidos. Para o caso da flexão perpendicular às fibras houve também relação significativa da interação entre o adesivo e a madeira sobre os valores obtidos de MOE e MOR. Especificamente para o MOR calculado a partir do ensaio de flexão perpendicular às fibras houve ainda influência significativa dos adesivos utilizados. Os ensaios de cisalhamento na linha de cola indicaram efeito da estrutura das lâminas, adesivo e interação da estrutura das lâminas com o cada um dos adesivos. Todos os valores de tensão de ruptura média de cisalhamento obtidos a partir de painéis atenderam ao requisito mínimo estabelecido pelas Normas Brasileira e Europeia.

Palavras chave: Painéis; Madeira; Compensado; Ureia formaldeído; Fenol formaldeído.

Abstract

The main goal of this research was to evaluate mechanical and physical properties of multi-laminated plywood made of *Schizolobium amazonicum* and *Pinus oocarpa* with different adhesives. Plywood panels were made with five layers, cross-lamination, and layer variation between *Schizolobium amazonicum* and *Pinus oocarpa* wood. We also evaluated urea formaldehyde and phenol formaldehyde adhesives (150 g/m²). The pressure used was 0,98 MPa; temperature of 150° C and press time equal to 10 minutes. We have analyzed basic density and chemical composition of both wood species. For the panels, we have performed physical analyses of specific gravity, equilibrium moisture content, and water absorption. For the determination of the mechanical properties, we made tests of static bending parallel and perpendicular to the fibers, as well as glue line shear strength. Physical properties results showed that there is interference of each wood species, as well as the adhesive, over specific gravity and equilibrium moisture content of the panels. Water absorption medium values found on this work did not present statistical differences among them. Results of static bending, parallel and perpendicular to the fibers, demonstrated influence of layers structure over MOE and MOR values obtained. For perpendicular static bending, we also had significant interaction between

1. Universidade Federal de Lavras – UFV. Lavras, MG, Brasil.

2. Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Goiás – UFG. Jataí, GO, Brasil.

* Autor correspondente: acmatos@dcf.ufla.br

adhesives and wood over MOE and MOR values obtained. Specifically for MOR values obtained through perpendicular static bending there was influence of adhesives utilized. Essays of glue line shear strength had demonstrated influence of layers structure, adhesive and interaction between layers structure and each adhesive. All values of glue line shear strength reached the minimum requisite of European and Brazilian Standards.

Keywords: Panels; wood; plywood; urea formaldehyde; phenol

INTRODUÇÃO

A madeira é um material anisotrópico, isto é, apresenta propriedades diferenciadas de acordo com o eixo de orientação (radial, tangencial ou transversal). Visando amenizar este fator biológico, diversos painéis foram desenvolvidos, sendo os painéis compensados um dos tipos de painéis mais utilizados, devido à sua ampla aplicação na construção civil e na movelaria.

Compensados multilaminados ou convencionais são painéis produzidos com lâminas de madeira coladas entre si, normalmente em número ímpar, com as fibras orientadas perpendicularmente em relação a adjacente (TSOUMIS, 1991).

Os painéis compensados apresentam múltiplas aplicações, sendo que o tipo de uso depende, principalmente, do adesivo aplicado. Os painéis produzidos com adesivo fenólico (FF) são utilizados na construção civil, como formas de concreto, pisos e cercas, entre outros, enquanto as chapas produzidas com adesivo uréico (UR) são utilizadas, principalmente, na produção de móveis, constituinte de divisórias, ou outras aplicações de uso interior (CUNHA et al., 2016).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada – ABIMCI (2008), os painéis compensados podem ser divididos em dois grupos: compensados de pinus e compensados tropicais, sendo a maioria das madeiras tropicais utilizadas provenientes da Amazônia.

No Brasil, desde 1999 as madeiras de pinus respondem pela maior produção de painéis compensados no Brasil, com produção concentrada nos Estados do Sul do País, (ABIMCI, 2008), principalmente no Paraná e em Santa Catarina, onde se encontram respectivamente 42% e 34% dos 1,6 milhões de hectares de plantio (IBA, 2017).

Entre as espécies conhecidas vulgarmente como pinus, o *Pinus oocarpa* (PI) está entre as espécies de pinus tropicais que apresentam os maiores valores médios de propriedades mecânicas, sendo uma das mais indicadas para aplicações que requeiram maior resistência e rigidez (TRIANOSKI et al., 2014). O rendimento para laminação da madeira de *Pinus oocarpa* advinda do plantio experimental localizado no Campus da Universidade Federal de Lavras – UFLA apresentou bons resultados, com rendimento médio de 57,53% (SANTOS et al., 2015).

Quanto aos compensados tropicais, o impacto ambiental resultante da exploração seletiva de madeiras tropicais tem causado restrições quanto à sua demanda por parte das comunidades internacionais, sendo que muitos países passaram a exigir certificação de manejo florestal sustentável. Preocupados com este cenário, empresários do setor florestal passaram a investir em florestas plantadas com espécies nativas da região. Dentre as espécies tropicais, o *Schizolobium amazonicum* (PA), popularmente conhecido como paricá, se apresenta como uma excelente alternativa silvicultural, além de ser uma madeira com características tecnológicas favoráveis a laminação e produção de painéis compensados (IWAKIRI et al., 2011).

As florestas plantadas com *Schizolobium amazonicum* ocupavam em 2015 um total de 90.000 ha plantados, sendo que a principal região de produção de compensados com essa espécie florestal está no Norte do País, nos estados do Pará e Maranhão. No Sul do Brasil, as empresas que se destacam estão no Paraná (ABIMCI, 2015).

Mas, as exigências dos mercados externos não se restringem apenas ao contexto ambiental. Parâmetros que atestem condições mínimas das características físicas e mecânicas dos painéis compensados também são requeridos. Esses parâmetros estão expressos sob a forma de normas internacionais, sendo a conformidade do produto verificada por meio de ensaios em laboratórios credenciados (JAERGER; ZIGER, 2007).

Para atendimento das exigências normativas e melhor economia, os compensados podem ser produzidos com variação de lâminas em sua estrutura, pois o balanceamento estrutural pode ser alcançado mesmo utilizando-se espécies e espessuras diferentes (IWAKIRI et al., 2012).

Na indústria, a união destas lâminas é feita principalmente com a aplicação dos adesivos ureia-formaldeído - UF e fenol- formaldeído – FF, sendo que o adesivo UF é utilizado em mais de 90% dos painéis de madeira (IWAKIRI, 2005), por seu baixo custo em relação a outros adesivos.

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho foi estudar diferentes composições de lâminas de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa*, bem como a influência dos adesivos UF e FF sobre as propriedades físicas e mecânicas de compensados multilaminados.

MATERIAL E MÉTODOS

Matéria-Prima

Foram utilizadas lâminas de *Schizolobium amazonicum* com as dimensões de 480x480x2mm, obtidas a partir de árvores com 6 anos de idade, provenientes da empresa Grupo Concrem da cidade de D. Elizeu /PA. As lâminas de *Pinus oocarpa* foram provenientes de árvores de idade de 18 anos, de plantio da Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG e laminadas na Unidade de Painéis da própria universidade, sendo posteriormente guilhotinadas nas mesmas dimensões das lâminas do *Schizolobium amazonicum*.

Determinação da densidade básica

A determinação densidade básica para ambas as espécies foi realizada conforme a NBR 11941/2003 (ABNT, 2013a).

Análises químicas

Para determinação do teor de extrativos, do teor de lignina insolúvel e do teor de cinzas, foram utilizadas as normas NBR 14853, NBR 7989 e NBR 13999 (ABNT, 2003b;c;d), respectivamente. O teor de holocelulose foi obtido por diferença.

Montagem do compensado e composição de lâminas

Após terem sido secas em estufa com circulação forçada de ar até 8% de umidade, com base no peso seco, foi feita a seleção de lâminas, sendo as sem defeito utilizadas nas faces.

Os painéis, em número de 3 por tratamento, foram montados utilizando os adesivos UF e FF com gramatura de 150g/m². Para o adesivo UF utilizou-se um teor de sólidos de 51,49%, pH de 12,86, viscosidade de 590 cp e Gel Time de 49s, enquanto para o adesivo UF foi utilizado um teor de sólidos de 53,69%, pH de 8,32, viscosidade de 465 cp e Gel Time também de 49 segundos.

A aplicação foi feita com espátula, espalhando-se de forma mais uniforme possível nas lâminas. Depois de formado o painel, o mesmo ficou em repouso por um período de quinze minutos.

O ciclo de prensagem foi realizado com temperatura de 150°C, pressão específica de 0,98 MPa e tempo de prensagem de 10 minutos, com composição de lâminas variando entre as espécies de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa* e o tipo de adesivo, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Plano experimental
Table 1 – Experimental Design

Tratamento	Sigla	Composição das lâminas	Adesivo	Repetição
T1	60% <i>S. amazonicum</i>	PA/PI/PA/PI/PA	UF	3
T2	60% <i>S. amazonicum</i>	PA/PI/PA/PI/PA	FF	3
T3	40% <i>S. amazonicum</i>	PI/PA/PI/PA/PI	UF	3
T4	40% <i>S. amazonicum</i>	PI/PA/PI/PA/PI	FF	3
T5	100% <i>S. amazonicum</i>	PA/PA/PA/PA/PA	UF	3
T6	100% <i>S. amazonicum</i>	PA/PA/PA/PA/PA	FF	3
T7	100% <i>P. oocarpa</i>	PI/PI/PI/PI/PI	UF	3
T8	100% <i>P. oocarpa</i>	PI/PI/PI/PI/PI	FF	3

Sendo, PA: Lâmina de *Schizolobium amazonicum*; PI: Lâmina de *Pinus oocarpa*; UF: Uréia-formaldeído; FF: Fenol-formaldeído.
Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Propriedades físicas e mecânica dos compensados laminados

Após a estabilização em temperatura e umidade relativa de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm \%$, realizaram-se os ensaios físicos de densidade aparente dos painéis, umidade de equilíbrio e determinação da absorção de água. Também foram realizados os ensaios mecânicos de flexão estática com direção das fibras paralela e perpendicular ao comprimento do corpo-de-prova (das lâminas de capa) e resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento em condição seca. Todos os ensaios foram realizados de acordo com as recomendações da Norma ABNT 31:000.05-001/1 (ABNT, 2004).

Os testes mecânicos foram conduzidos na máquina de ensaio universal (EMIC DL-30000). A produção dos painéis e os testes físicos e mecânicos foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM).

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento utilizado para avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis foi o inteiramente casualizado, arranjo em fatorial. Foi considerado como fator principal o adesivo utilizado e como segundo fator as diferentes combinações de lâminas nos painéis. Nos casos onde não houve interação significativa entre os fatores, os mesmos foram estudados separadamente. O teste de média utilizado foi o Scott-Knott, em nível de 95% de confiança. Para análise das características das madeiras foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, sendo os resultados analisados por meio de análise de variância e teste de Scott-Knott em nível de 95% de confiança. Os dados foram testados para verificar se seguiam distribuição normal, utilizando-se o método Shapiro-Wilk (Shapiro e Willk, 1965).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade básica da madeira

Na figura 1 são apresentados os valores médios da densidade básica da madeira de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa*, respectivamente. Nela podemos observar que o *Pinus oocarpa* possui uma densidade básica superior à do *Schizolobium amazonicum* em aproximadamente 1,7 vezes. O valor médio da densidade básica do *Pinus oocarpa* foi superior aos valores médios encontrados em literatura por Amaral et al. (1977), de 342 kg/m^3 , e Mendes et al. (1999), de 446 kg/m^3 .

Figura 1: Valores médios encontrados para a densidade básica. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 1: Basic density mean values

O valor médio encontrado para densidade básica da madeira de *Schizolobium amazonicum* foi semelhante aos valores encontrados em literatura para a densidade básica média desta espécie (COLLI, 2007; MATSUBARA, 2003; SILVA et al., 2016 TRIERWEILER et al., 2006). Já Lobão et al. (2012), pesquisando essa espécie de ocorrência natural no estado do Acre, encontrou maiores valores de densidade, variando de 420 a 510 kg/m^3 .

Análises químicas

Na figura 2 são apresentados os resultados das análises químicas realizadas para as madeiras de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa*. Os valores de extrativos totais do *Schizolobium amazonicum* encontrados neste trabalho são superiores aos encontrados em literatura, os quais foram de 3% (VIDAURRE, 2010) e 5,3% (MELO et al., 2013).

Figura 2: Resultado das análises químicas da madeira de *Schizolobium amazonicum* (PA) e *Pinus oocarpa* (PI). Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 2: Results of chemical analyses for *Schizolobium amazonicum* (PA) and *Pinus oocarpa* (PI).

O valor de lignina insolúvel encontrado para o *Schizolobium amazonicum* foi superior aos de Vidaurre (2010) e Melo et al. (2013), os quais foram similares e em torno de 26%. O teor de lignina insolúvel do *Pinus oocarpa* solúvel está de acordo com o valor encontrado por Moraes (2005), o qual foi apenas ligeiramente inferior, 25,18% de lignina.

O teor de holocelulose do *Schizolobium amazonicum*, por sua vez, foi similar ao citado em literatura por Melo et al. (2013), o qual foi de 68,5% e por Modes (2018), cujo valor foi de 64,71%. O teor de holocelulose do *Pinus oocarpa* foi coerente com os dados encontrados na literatura (FENGEL, 1989), embora tenha sido inferior ao valor encontrado para esta espécie por Moraes (2005), o qual foi de 80,27% de holocelulose.

Quanto ao teor de cinzas do *Schizolobium amazonicum*, o mesmo foi superior aos valores encontrados por Melo et al. (2013) e Vidaurre (2010), os quais foram inferiores a 1%. Para o *Pinus oocarpa* o teor de cinza foi inferior ao encontrado em literatura, o qual foi de 1,26% (MORAIS et al., 2005).

Propriedades físicas dos compensados multilaminados

Densidade Aparente

No relativo a densidade aparente dos painéis, a composição das lâminas dos painéis compensados e o adesivo utilizado influenciaram significativamente os resultados obtidos.

Na figura 3 são apresentados os valores médios da densidade aparente dos compensados obtidos, sendo que entre os painéis contendo 60 ou 40% de *Schizolobium amazonicum*, não houve diferença estatística entre os valores de densidade aparente obtidos.

Figura 3: Valores médios encontrados para a densidade aparente dos painéis compensados laminados. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 3: Specific gravity mean values of multi-laminated plywood

A densidade aparente dos painéis compensados produzidos exclusivamente com *Schizolobium amazonicum* ou *Pinus oocarpa* diferiram entre si, bem como em relação aos painéis compostos, o que está intrinsecamente relacionado às características das madeiras utilizadas. A densidade aparente dos painéis produzidos exclusivamente com *Schizolobium amazonicum*.

Os valores de densidade aparente dos painéis 100% *Schizolobium amazonicum* é condizente com o valor de densidade aparente encontrado por Almeida (2013) para a madeira de *Schizolobium amazonicum*,

o qual foi de 370 kg/m³, se considerarmos que houve adição do adesivo. Quanto ao *Pinus oocarpa*, o valor de densidade aparente foi inferior ao encontrado por Lima et al. (2013) trabalhando com painéis de lâminas paralelas da mesma espécie, o qual foi de 663 kg/m³.

No relativo ao adesivo utilizado na união das lâminas, houve influência significativa dos adesivos utilizados sobre a densidade aparente dos painéis avaliados.

Os valores obtidos para densidade aparente dos painéis de pinus foram compatíveis aos encontrados pela ABIMCI (2008) para painéis comerciais produzidos no Brasil, sendo os valores médios apresentados por esta, compreendidos entre 476 kg/m³ g/cm³ e 641 Kg/m³.

Os painéis 100% *Schizolobium amazonicum* apresentaram valores de densidade aparente inferiores, entretanto, isto não inviabiliza sua produção nem utilização, exceto em usos estruturais. Como a maioria das aplicações de painéis são de uso não estrutural como móveis, divisórias, paredes, etc, painéis menos densos podem ser utilizados da mesma forma, tendo sua instalação inclusive facilitada, por serem mais leves.

Umidade de equilíbrio

Tanto a estrutura das lâminas, quanto os adesivos utilizados influenciaram significativamente nos resultados de umidade de equilíbrio.

Na Figura 4 estão apresentados os valores de umidade de equilíbrio obtidos para os diferentes compensados laminados produzidos. Nela podemos observar que a variação da composição de *Schizolobium amazonicum* não influenciou significativamente para o fator umidade do material.

Figura 4: Valores médios encontrados para a umidade dos painéis compensados multilaminados. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 4: Moisture content mean values of multi-laminated plywood

Já os painéis com 100% de *Pinus oocarpa* (T7 e T8) diferiram significativamente dos demais, o que, muito provavelmente, está relacionado a madeira, já que o *Schizolobium amazonicum* é uma angiosperma com presença de parênquima em faixa marginal e porosidade difusa com vasos em padrão diagonal e ou/radial (SILVA et al., 2016), enquanto o *Pinus oocarpa*, que é uma gimnosperma (REFLORA, 2018), não possui vasos, o que pode influenciar a absorção de umidade nas lâminas.

No relativo ao adesivo como fonte de variação, podemos observar, ainda na figura 4, que houve diferença estatística entre os dois adesivos utilizados. Confrontados os resultados encontrados para teor de umidade dos painéis, verifica-se que as médias atendem o requisito de teor de umidade máximo exigido pelo catálogo técnico do Programa Nacional da Qualidade da Madeira (PNQM), que é de 18% (ABIMCI, 2009).

Absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água total realizado para os compensados laminados encontram-se na Figura 5.

Os valores médios de absorção de água dos painéis compostos exclusivamente por *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa* ficaram acima dos encontrados por Almeida (2009) ao avaliar a absorção de água de painéis produzidos com *Schizolobium amazonicum* e *Pinus elliottii*, que foram de 63,34%, para o *Schizolobium amazonicum* e de 43,11% para de *Pinus elliottii*.

Figura 5: Valores médios encontrados para absorção de água dos painéis compensados laminados. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 5: Water absorption mean values for multi-laminated plywood

Propriedades mecânicas dos compensados laminados

Flexão paralela às fibras

Os resultados das análises estatísticas para os ensaios de flexão paralela e perpendicular às fibras mostraram que a estrutura das lâminas influenciou significativamente na flexão paralela às fibras, tendo este sido o único fator significativo de influência.

Na figura 6 são apresentados os valores de módulo de elasticidade (MOE) obtidos através do ensaio de flexão paralela às fibras. Para os painéis compostos por de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus oocarpa* não houve diferença estatística entre os valores obtidos.

Figura 6: Valores médios de módulo de elasticidade (MOE) obtidos pela flexão paralela às fibras. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 6: Modulus of elasticity (MOE) calculated from parallel static bending

Comparando a figura 3 com a figura 6, podemos ver a intrínseca relação entre a densidade aparente do material e seu comportamento mecânico, isto é, painéis de maior densidade apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade no ensaio de compressão paralela às fibras. Quanto ao adesivo, não houve influência significativa deste fator para o ensaio de flexão de flexão paralela às fibras.

A partir do ensaio de flexão paralela às fibras foram calculados os valores de módulo de ruptura (MOR) para cada um dos tratamentos. Na figura 7 são apresentados os valores médios obtidos.

Estatisticamente, não houve influência significativa do adesivo ou da interação adesivo-madeira, para o MOR, sendo a estrutura das lâminas a única fonte de variação significativa. Também não houve diferença significativa entre os valores obtidos entre compensados compostos por lâminas de *Pinus oocarpa* e *Schizolobium amazonicum* e os exclusivamente por *Schizolobium amazonicum* (Figura 7).

Os valores médios de MOE e MOR encontrados para os painéis compensados de *Pinus oocarpa* foram inferiores aos valores médios encontrados por Iwakiri et al. (2002), cujos valores médios de MOE variaram de 10.265 a 12.169 Mpa, enquanto os valores médios de variaram de 73,6 a 76,7 Mpa. Tal diferença se deve, muito provavelmente, à diferença de espessura das lâminas utilizadas que foi de 2 mm neste trabalho e de 3,2 mm no trabalho de Iwakiri et al. (2002).

Figura 7: Valores médios de módulo de ruptura (MOR) obtidos pela flexão paralela às fibras. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 7: Modulus of rupture mean values calculated from parallel static bending

Comparado com os valores de MOR e MOE paralelos dos painéis comerciais de pinus do catálogo técnico da ABIMCI (*Pinus taeda* com massa específica de 530 Kg/m) que são de 6.890 MPa e 38,1 MPa, respectivamente, os painéis de *Pinus oocarpa* deste trabalho apresentaram MOE e MOR levemente inferiores, 4.907 MPa e 35,72 MPa, respectivamente.

Flexão perpendicular às fibras

Os resultados das análises estatísticas para os ensaios de flexão perpendicular às fibras indicaram que a estrutura das lâminas e interação entre os adesivos e estrutura das lâminas influenciaram significativamente a propriedade de MOE perpendicular.

Na figura 8 são apresentados os valores médios de MOE obtidos para os tratamentos realizados. Para os tratamentos contendo *Schizolobium amazonicum* com adesivo FF e UF não houve diferença estatística entre os valores médios de MOE. Os painéis compostos exclusivamente de *Pinus oocarpa* diferiram dos demais.

Figura 8: Valores médios de módulo de elasticidade (MOE) obtidos pela flexão perpendicular às fibras. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 8: Modulus of elasticity (MOE) mean values calculated from perpendicular static bending

Seria de esperar que quanto maior fosse o percentual de *Pinus oocarpa* no compensado, maior seriam os valores de MOE, entretanto isto não ocorreu. Os menores valores para todos os tratamentos contendo *Schizolobium amazonicum* podem ser um indicativo de linha de cola faminta causada pela absorção excessiva do adesivo devido a maior porosidade *Schizolobium amazonicum* ou efeito do alto teor de extrativos das espécies.

Quanto a diferença entre os resultados de MOE dos painéis 100% pinus FF e UF, é possível também que os painéis confeccionados com UF tenham sido beneficiados com presença de lâminas

de lenho adulto, o qual apresenta densidade e propriedades mecânicas superiores. Entretanto, não houve controle deste fator no experimento.

Na figura 9 são apresentados os valores médios de MOR para todos os tratamentos. Para a propriedade de MOR houve influência significativa da estrutura das lâminas, dos adesivos utilizados e da interação entre os adesivos e estrutura das lâminas.

Figura 9: Valores médios de módulo de ruptura (MOR) obtidos pela flexão perpendicular às fibras. Letras diferentes representam valores significativamente diferentes a ($p \geq 0.05$) usando o teste de Scott-Knott.

Figure 9: Modulus of rupture (MOR) mean values calculated from perpendicular static bending

Para os painéis feitos com adesivo UF todos os tratamentos contendo *Schizolobium amazonicum* apresentaram MOR estatisticamente igual; o mesmo se deu para o adesivo FF.

Entretanto, os valores de MOR para painéis compostos exclusivamente por pinus com adesivo UF dos demais. No caso dos painéis compostos confeccionados com adesivo FF, não houve diferença estatística entre nenhum dos tratamentos.

De acordo com o catálogo técnico da ABIMCI, os valores médios de MOE e MOR perpendicular dos painéis comerciais de *Pinus taeda* são, respectivamente, de 2.839 MPa e 25,3 MPa, para massa específica de 0,53 g/cm³. Portanto, o valor médio obtido para o MOE perpendicular as fibras dos painéis de *Pinus oocarpa*, equivalente a 3.262,5 MPa, foi superior ao do catálogo para *Pinus taeda*. Já para o MOR, os valores diferem muito pouco, tendo o valor médio deste trabalho sido de 24,68 MPa.

Cisalhamento seco

Os resultados das análises estatística dos ensaios de cisalhamento seco demonstraram que houve influência significativa da estrutura das lâminas, dos adesivos, bem como da interação da estrutura das lâminas dos painéis com o adesivo.

Na figura 10 são apresentados os valores médios de resistência obtidos através do ensaio de cisalhamento à seco para todos os tratamentos realizados. Nela pode-se observar os resultados médios de resistência ao cisalhamento seco para todos os tratamentos realizados.

Figura 10: Valores médios de resistência ao cisalhamento à seco

Figure 10: Mean values of glue-line shear stress

Para os tratamentos realizados com o adesivo UF, os painéis compostos por 60% de *Schizolobium amazonicum* apresentaram valores inferiores aqueles compostos por 40% e 100%, enquanto os painéis compostos exclusivamente por lâminas de pinus apresentaram resultados superiores.

Considerando a arquitetura dos corpos de prova para ensaios de cisalhamento, a resistência superior das lâminas no sentido das fibras e que, para uma boa colagem, o rompimento do corpo de prova deve ocorrer na madeira, era de se esperar que corpos de prova com lâmina central de *Pinus oocarpa* apresentassem maior resistência, já que a lâmina de *Pinus oocarpa* estaria no sentido das fibras, enquanto corpos de prova com lâmina central de *Schizolobium amazonicum* teriam menor resistência ao cisalhamento, já que as lâminas de *Pinus oocarpa* estariam em sentido perpendicular às fibras.

Isto de fato ocorreu, pois se considerarmos os tratamentos com 40% de *Schizolobium amazonicum*, os mesmos apresentam a configuração explanada acima e apresentam valores estatisticamente superiores aos painéis com 60% de *Schizolobium amazonicum*, para o caso do adesivo UF. Entretanto, o mesmo não ocorreu para o adesivo FF, para o qual não houve diferença estatística entre os painéis com diferentes percentuais de *Schizolobium amazonicum*.

Tal constatação pode ser uma evidência de adesão inadequada entre as duas espécies de madeira, devendo isto ser melhor estudado em trabalhos futuros. Estes resultados, muito provavelmente, refletem a interação significativa entre adesivo e madeira. Os tratamentos compostos exclusivamente por *Pinus oocarpa* apresentaram comportamento esperado, indicativo de boa união entre as lâminas.

O comportamento dos tratamentos FF não apresentou a mesma tendência dos tratamentos UF, exceto para os painéis 100% *Pinus oocarpa* e 100% *Schizolobium amazonicum*. Esta variação pode ser um indicativo de interação diferenciada entre os adesivos utilizados e os painéis.

Apesar disso, os valores médios de resistência ao cisalhamento a seco encontrados para os compensados de *Schizolobium amazonicum* com adesivo UF e FF são superiores aos valores encontrados por Iwakiri et al. (2011) que variaram de 0,67 a 0,84 Mpa. Os valores médios de resistência ao cisalhamento seco obtidos nesta pesquisa também estão acima dos valores médios (de 1,67 a 2,17 Mpa) encontrados por Iwakiri et al. (2002) para painéis compensados de *Pinus oocarpa* produzidos com resina FF.

Todos os valores de tensão de ruptura média de cisalhamento obtidos a partir de painéis com adesivo UF e FF atenderam ao requisito mínimo de 1,0 MPa, independentemente da porcentagem de falhas na madeira, conforme estabelecido pelas normas europeia e NBR ISO 12466-2 (ABNT, 2006).

Em virtude de todos os tratamentos terem atendido os requisitos das Normas, dispensam-se os ensaios de falhas de cisalhamento seco.

CONCLUSÃO

Os compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum* tiveram destaque em todas as combinações apresentando menores resultados de umidade de equilíbrio. Quanto a absorção de água total, todos os painéis absorveram água de forma homogênea, independente de quaisquer fatores.

Os valores de MOE e MOR perpendiculares às fibras e a resistência ao cisalhamento seco sofreram influência significativa da interação da composição das lâminas e adesivo. Também houve influência significativa exclusivamente do adesivo para os valores de MOR perpendicular às fibras e resistência ao cisalhamento seco, propriedade esta que também foi afetada significativamente pela composição das lâminas.

Os resultados das propriedades físicas avaliadas indicam a viabilidade de uso de lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum* na produção de painéis compensados, mas, de forma geral, os painéis de *Pinus oocarpa* apresentaram melhor desempenho de propriedades e na adesão.

AGRADECIMENTOS:

FAPEMIG, CAPES e CNPQ.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. C. Efeito da adição de carga extensora nas propriedades do adesivo ureia formaldeído e dos compensados de pinus e paricá. 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

- ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. M.; MACEDO, L. B.; MACEDO, A. N.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L.; CALIL JUNIOR, C. Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) em peças de dimensões estruturais. Revista Árvore, v. 37, n. 6, 2013.
- AMARAL, A. C.; FERREIRA, M.; COUTO, H. T. Z. do. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. IPEF, v. 15, p.47-67, 1977.
- ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. Estudo setorial 2009: ano base 2008. ABIMICI: Curitiba, 2009. 48 p
- ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. Estudo setorial 2007. Curitiba: ABIMICI, 2008. 40p
- ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Catálogo técnico de compensados de pinus. Curitiba: ABIMICI, 2002. 20 p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12466-2 – Madeira Compensada – Qualidade de colagem Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 31:000.05-001/1:2004. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941/2003: Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14853: Madeira – Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. Rio de Janeiro; 2003b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7989: Pastas celulósicas e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro; 2003c.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13999: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro; 2003d.
- COLLI, A. CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) E PROPRIEDADES DE CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRAS DE COCO (*Cocos nucifera* L.). 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- CUNHA, A. B.; RIOS, P. D. A.; SYUPP, A. N. M.; ANTUNES, R.; BRAND, M. A. Produção de painéis compensados com resina fenólica e melamínica sem formaldeído. Revista Floresta, v. 46, n. 4, p.553-560, 2016.
- FENGEL, D. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions, New York: Walter de Gruyter, 1989, 613 p.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2017. Brasília: IBÁ, 2017.
- IWAKIRI, S.; MANHICA. RAMIREZ, M. G.; MATOS, J. L. M.; BONDUELLE, G. M.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii* com diferentes composições estruturais. Ciência Florestal, v. 22, n.2, p. 315-321, 2012.
- IWAKIRI, S.; VARGAS, C. A.; PARCHEN, C. F. A.; WEBER, C.; BATISTA, C. C.; GARBE, E. A.; CIT, E. J.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. Revista Floresta, v. 41, n. 3, p. 451-458, 2011.
- IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: Abril, 2005.
- IWAKIRI, S.; SILVA, J. C.; SILVA, J. R. M.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* *schiede* com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído. Revista Árvore, v. 26, n. 3, p. 371-375, 2002.
- JAERGER, P.; ZIGER, M. Avaliação das propriedades mecânicas de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus dunnii*/*Pinus taeda*. Cerne, v. 13, n. 3, p. 329-338, 2007.

LIMA, N. N.; MENDES, L. M.; AS, V. A.; BUFALINA, L. Propriedades físico-mecânicas de painéis LVL produzidos com três espécies amazônicas. *Cerne*, v. 19, n. 3, p. 407-413, set. 2013.

LOBÃO, M. S.; COSTA, D. P.; ALMONACID, M. A. A.; TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Acre, Brasil. *Floresta e ambiente*, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

MATSUBARA, R. K. Caracterização dendrológica e física de cinco espécies arbóreas de ocorrência no estado de Mato Grosso. 2003. 85 p. Monografia (Especialização em Produtos Florestais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; STARGELIN, D. M. Avaliação das Propriedades Físicas, Químicas, Mecânicas e de Superfície de Lâminas de *Schizolobium amazonicum* (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), *Floresta e ambiente*, v. 20, n. 2, p. 238-249, 2013.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Variação da densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. no sentido longitudinal dos caules. *Cerne*, v. 5, n. 11, p.102-111, 1999.

MODES, K. S.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; TOMAZELLO FILHO, M.; SANTOS, L. M. H.; VIVIAN, M. A.; SILVA JÚNIOR, F. G. Caracterização morfológica e química da madeira de *Schizolobium amazonicum* aos 14 anos de plantios no estado de Rondônia. *Scientia Forestalis*, v. 46, n. 118, p. 271-283, 2018.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* PARTE I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. *Revista Árvore*, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

REFLORA. Gymnosperms in Flora do Brasil 2020 under construction. 2018. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB128477>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

SANTOS, A. F. Rendimento efetivo em laminação de madeira de *Pinus oocarpa* cultivada no estado de minas gerais. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 1663-1670, 2015.

SILVA, M. G.; MORI, F. A.; FERREIRA, G. C.; RIBEIRO, A. O.; CARVALHO, A. G.; BARBOSA, A. C. M. C. Estudo anatômico e físico da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* proveniente de povoamentos nativos da Amazônia. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 110, p.293-301, 2016.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de especies de *Pinus tropicais*. *Scientia Forestalis*, v. 42, n. 101, p.21-28, mar. 2014.

TRIERWEILER, J. L.; PENNA, J. E.; BORGES, P. H. M. Variação axial da densidade básica em seis diferentes níveis de altura do tronco de *Schizolobium amazonicum ducke* ("pinho cuiabano"), usando-se três fatias centrais contíguas de disco – teste de metodologia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 10, 2006, Lavras. Anais... Lavras: UFV, 2006.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood. Structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VIDAURRE, G. B. Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de *Schizolobium amazonicum* para produção de energia e polpa celulósica. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

Recebido em: 24/05/2018

Aceito em: 03/05/2019