

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS COMPENSADOS DE *Melia azedarach* L. PRODUZIDOS COM DIFERENTES GRAMATURAS E TEMPOS DE PRENSAGEM¹

Rosilani Trianoski², Setsuo Iwakiri², Jorge Luis Monteiro de Matos², Antonio Riioyei Higa³ e Rafael Leite Braz⁴

RESUMO – O Brasil é um grande produtor de painéis compensados, suas florestas de *Pinus* são as mais utilizadas nesse processo e grande parte dessa produção é destinada à indústria moveleira. Muitas espécies têm sido introduzidas no país para essa e outras finalidades, entre elas a *Melia azedarach*, que ainda requer diversos estudos tecnológicos para a melhor utilização de sua madeira. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a viabilidade de utilização da *Melia azedarach* para a produção de painéis compensados e o efeito da gramatura de adesivo e do tempo de prensagem sobre as propriedades dos painéis. Foram utilizadas cinco árvores provenientes de um plantio experimental localizado em Corupá, SC, das quais foram obtidas amostras para determinação da densidade básica (COPANT 461/1972) e das propriedades químicas (TAPPI 204, 1997; 207, 1999; 280, 1999; 212, 2002; 252, 2002), bem como para a obtenção das lâminas. Os painéis foram produzidos com dimensões de 500 mm x 500 mm x 10 mm (cinco lâminas), segundo um delineamento em arranjo fatorial (3x2) com três gramaturas (320 g/m², 360g/m² e 400 g/m²) e dois tempos de prensagem (8 e 10 min), adesivo ureia-formaldeído, pressão específica de 1 MPa e temperatura de 110 °C. As propriedades dos painéis foram avaliadas a partir do ensaio de flexão estática (EN:310:2002) e resistência da linha de cola ao cisalhamento (EN 314-1:2004 e EN 314-2:2002). Os resultados indicaram diferença estatística significativa dos efeitos principais: a gramatura e tempo de prensagem apenas no módulo de elasticidade no sentido perpendicular e a inexistência de diferença estatística significativa entre as médias a partir da interação dessas duas variáveis de resposta. Concluiu-se que a espécie apresenta viabilidade técnica para a produção de painéis compensados, podendo maximizar a produtividade e minimizar os custos de produção, por meio da utilização da menor gramatura de adesivo e do menor tempo de prensagem.

Palavras-chave: Cinamomo; Painéis de madeira; Indústria moveleira.

EVALUATION OF THE PROPERTIES OF PLYWOOD PANELS OF *Melia azedarach* L. PRODUCED WITH DIFFERENT WEIGHTS AND TIMES OF PRESSING

ABSTRACT – Brazil is a major producer of plywood, where pine forests are the most used in this process, and much of this production is aimed at the furniture industry. Many species have been introduced in the country for this and other purposes, including the *Melia azedarach*, which still requires many technological studies for the best use of its wood. In this context, the objective of this research was to evaluate the feasibility of use of *Melia azedarach* for the production of plywood and the effect of the weight of adhesive and pressing

¹ Recebido em 27.06.2013 aceito para publicação em 02.06.2015.

² Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba, PR - Brasil. E-mail: <rosilani@ufpr.br>, <setsuo@ufpr.br> e <jmatos@ufpr.br>.

³ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, PR - Brasil. E-mail: <higa@ufpr.br>.

⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE - Brasil. E-mail: <rafaellbraz@yahoo.com.br>.



time on the properties of the panels. 5 trees from an experimental planting located in Corupá, SC, were used, from which samples were collected for the determination of the density (COPANT 461/1972) and chemical properties (TAPPI 204:1997; 207: 1999; 280: 1999; 212:2002; 252:2002), and for obtaining the veneers. The panels were produced with dimensions of 500mm x 500mm x 10mm (5 veneers) according to a randomized block design in a factorial arrangement (3x2) with 3 weights (320 g/m², 360 g/m² and 400 g/m²) and 2 pressing times (8 and 10 minutes), urea-formaldehyde adhesive, specific pressure of 1 MPa and temperature of 110 °C. The properties of the panels were evaluated from the static bending (EN: 310:2002) and resistance of the glue line to shearing (EN 314-1:2004 and EN 314-2:2002). The results indicated statistically significant difference between main effects: weight and pressing time only for the modulus of elasticity in the perpendicular direction, and the lack of significant differences between the means from the interaction of these two response variables. It was concluded that the species is technically feasible for the production of plywood, being able to maximize productivity and minimize production costs by the use of adhesive lighter weight and shorter pressing time.

Keywords: Cinamomo; Wood panels; Furniture industry.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de painéis compensados, destacando-se não somente na América do Sul, mas em nível mundial. De acordo com a ABRAF (2012), no período de 2000-2011 a produção de painéis compensados evoluiu de 1,4 para 1,8 milhão de m³ anuais, representando um crescimento médio de 2,3% ao ano, em que, segundo a ABIMCI (2009), grande parte dessa produção era direcionada para o mercado externo, principalmente o americano. De acordo com essa associação, a crise imobiliária e o desaquecimento da economia americana promoveram redução nas exportações, e as empresas, estrategicamente, redirecionaram suas exportações para a União Europeia, bem como para o mercado interno.

Atualmente, as florestas de *Pinus* sp são as mais utilizadas para essa finalidade, no entanto muitas espécies de rápido crescimento têm sido objeto de estudos para aumentar a diversidade e quantidade de matéria-prima, assim como melhorar a qualidade do produto final. Entre as inúmeras espécies que têm sido introduzidas no país, destaca-se a *Melia azedarach*, popularmente conhecida como cinamomo.

Pertencente à família *Meliaceae*, é nativa da Ásia (CABEL, 2006) e encontra-se distribuída na Índia, Paquistão, Sri Lanka, Tailândia, Laos, Vietnã, Camboja, sendo extensamente cultivada na Ásia e na parte Sul da América Latina (BOBADILLA, 2004). Segundo Venson (2003), é uma espécie que apresentou boa adaptação em toda a América, desde o Sudeste dos Estados Unidos, México, América Central até a América do Sul.

No Brasil, o cinamomo teve alto grau de adaptação climática na Região Sul, além da ótima qualidade da sua madeira, justificando, dessa forma, a realização de investimentos com o objetivo de produzir matéria-prima tanto para a indústria moveleira quanto para o consumo doméstico de famílias rurais e de pequenos marceneiros (VIVIAN et al., 2005).

Uma das formas de utilizar a madeira de cinamomo para a produção de móveis é a partir de painéis reconstituídos, a exemplo de painéis compensados, em que as características dessa espécie podem gerar produtos de elevado valor agregado devido à qualidade de sua madeira e ao seu belo aspecto estético e decorativo.

Na produção de painéis compensados, muitas variáveis devem ser consideradas e controladas rigorosamente, entre elas as propriedades físicas e químicas da madeira, o tipo e quantidade do adesivo e os parâmetros de prensagem, obtendo-se, assim, produtos com características desejáveis ou que atendam aos valores mínimos impostos pelas normas de referência sob a qual um produto é avaliado.

Em relação à espécie, as características que exercem influência e indicam a sua viabilidade para a produção de painéis compensados são, principalmente, a densidade da madeira e as propriedades químicas. Segundo Marra (1992), madeiras de alta densidade, por apresentarem menor porosidade, paredes celulares mais espessas e lumes reduzidos, tendem a limitar a mobilidade do adesivo na estrutura lenhosa. Quanto mais densa for a madeira, menor será sua permeabilidade ao adesivo, proporcionando ligação adesiva mais superficial e, provavelmente, mais fraca. No entanto, em madeiras

de baixa densidade a penetração do adesivo é maior, podendo resultar em uma linha de cola “faminta”, o que também afeta negativamente a qualidade de colagem (IWAKIRI, 2005). Assim, são sugeridas diferentes composições de adesivos para cada densidade, objetivando a uma penetração ideal em cada tipo de madeira (MARRA, 1992).

Já a influência dos componentes químicos da madeira no desempenho da ligação adesiva está relacionada com a variabilidade na quantidade e distribuição dos extrativos, que se diferenciam entre cerne e alburno e lenho inicial e tardio e podem resultar em áreas de delaminação dentro da mesma linha de cola. Além disso, dependendo da espécie e condições de secagem das lâminas, podem ocorrer a migração e concentração excessiva desses componentes na superfície, formando a chamada superfície inativa ou contaminada, a qual bloqueia o contato adesivo-madeira (IWAKIRI, 2005). O pH dos extrativos pode inibir as reações químicas de endurecimento” do adesivo, impedindo a fluidez, a molhabilidade e a absorção, prejudicando, assim, o desenvolvimento de resistência e coesão adequada da linha de cola (MARRA, 1992).

O adesivo mais utilizado na indústria de painéis de madeira é a ureia-formaldeído devido ao seu baixo custo quando comparado com os demais adesivos, sua fácil trabalhabilidade, coloração e velocidade de polimerização (FORSS; FUHRMANN, 1979). Segundo Iwakiri (2005), é utilizado em mais de 90% dos painéis de madeira, e Dias e Lahr (2004) relataram que painéis colados com esse tipo de adesivo são empregados basicamente na indústria moveleira. A quantidade do adesivo aplicado varia com a classificação do painel, tipo de adesivo, espécie de madeira e, em particular, qualidade de superfície da lâmina, em que lâminas que apresentam superfícies lisas requerem menor gramatura (THOEMEN et al., 2010).

Além da espécie, tipo e quantidade de adesivo, muitas outras variáveis estão envolvidas no processo de produção de painéis, especialmente no momento da prensagem (MATOS, 1998). Segundo esse autor, a prensagem é uma das etapas mais importantes, pois regula o fluxo de produção. Cai et al. (2009) complementaram ainda que é a etapa mais crítica para a determinação do desempenho global do painel.

Durante a prensagem, diversos fatores interagem, entre eles o tempo, a temperatura e a pressão, atuando

diretamente sobre as propriedades físicas e mecânicas do produto final (MATOS, 1988; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005). Esses fatores têm sido extensivamente estudados por diversos pesquisadores, a fim de melhorar o processo e os produtos.

A principal função da temperatura durante o processo de prensagem é acelerar a polimerização do adesivo, sendo definida, principalmente, em função do tipo de adesivo, e a pressão atua como elemento gerador do contato superficial entre as lâminas, facilitando a transferência do adesivo e da temperatura (MATOS, 1988; MARRA, 1992; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005). Já o tempo de prensagem diz respeito ao tempo de permanência do painel na prensa, o qual deve ser suficiente para que o interior do painel alcance a temperatura necessária para a polimerização do adesivo (MARRA, 1992). Segundo Iwakiri (2005), o tempo de prensagem depende, sobretudo, da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel e da temperatura e tipo do adesivo. Já Matos (1988) afirmou que a redução no tempo de consolidação do painel é economicamente desejável, pois implica maior produtividade e redução no consumo de energia, no entanto o decréscimo do tempo de prensagem resulta também no decréscimo das propriedades de resistência mecânica.

Dessa forma, com o objetivo de aumentar a diversidade e disponibilidade de matéria para a indústria moveleira, este trabalho objetivou avaliar a viabilidade de utilização da espécie *Melia azedarach* para a produção de painéis compensados e o efeito da gramatura e do tempo de prensagem sobre as propriedades dos painéis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizadas árvores de *Melia azedarach* provenientes de plantios experimentais com idade de 18,5 anos, localizados na região de Corupá, SC (26°23'19,32"O, 49°16'50,74"S), com altitude de 68 m, clima mesotérmico, temperatura média anual de 22 °C e precipitação de 2.200 mm (GARMIN, 2004).

As árvores foram selecionadas a partir da amostragem sugerida pela Norma COPANT 458/1972 e, posteriormente, abatidas e seccionadas de acordo com a altura comercial, obtendo-se amostras (discos) nas posições relativas a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% do fuste, para avaliação das propriedades físicas e químicas, e toras.

A densidade básica foi determinada de acordo com os procedimentos da Norma COPANT 461/1972. As propriedades químicas foram avaliadas segundo as Normas TAPPI, sendo quantificados os extrativos solúveis em água fria e água quente (TAPPI 207, 1999), em hidróxido de sódio – (TAPPI 212, 2002), em etanol-tolueno (TAPPI 280, 1999), os extrativos totais (TAPPI 204, 1988) e o pH da madeira (TAPPI 252, 2002).

As toras foram submetidas ao processo de laminação em torno desfolhador, obtendo-se lâminas com espessura nominal de 2 mm, as quais foram posteriormente secas até atingirem teor de umidade de 6%-8% e seccionadas com dimensões finais de 500 mm x 500 mm. Os painéis foram produzidos com espessura nominal de 10 mm (cinco lâminas), três repetições por tratamento e em arranjo fatorial (3x2, sendo três níveis de gramatura e dois tempos), conforme delineamento apresentado na Tabela 1. Mantiveram-se a pressão de 1 MPa e a temperatura de 110 °C em todos os tratamentos. Na produção dos painéis, foi utilizada a resina ureia-formaldeído (UF) com teor de sólidos de 61,8%, viscosidade Brookfield de 867,8 cP e pH de 7,8. O adesivo foi formulado a partir de 100 partes por peso de resina (UF), 20 partes de farinha de trigo, 20 partes de água e 1,5 parte de catalisador, cujos percentuais foram de 70,6%, 14,1%, 14,1% e 1,2%, respectivamente.

Após a prensagem e climatização (20±2 °C e 65±5%), os painéis foram seccionados, obtendo-se corpos de prova para a avaliação das propriedades mecânicas de flexão estática, conforme a Norma EN:310:2002 e a resistência da linha de cola ao cisalhamento, EN 314-1:2004 e EN 314-2:2002.

Os resultados foram submetidos à análise estatística por meio dos testes de Grubbs, Shapiro Wilks, Bartlett e ANOVA, em arranjo fatorial 3x2. Rejeitada a hipótese de nulidade, foi aplicada a comparação de médias por

meio do teste de Tukey. Todos os testes foram efetuados no Programa *Statgraphics Centurion XVI* a 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS

3.1. Densidade básica e propriedades químicas da madeira

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicaram que a espécie apresenta densidade básica de 0,488 g/cm³, sendo classificada como espécie de densidade média baixa, conforme Melo et al. (1990). Já as análises químicas demonstraram que a espécie apresenta teor de extrativos totais de acordo com os valores apresentados por Fengel e Wegener (1989), que mencionaram que em folhosas esse componente varia de 1% a 5%.

3.2. Propriedades mecânicas dos painéis compensados

3.2.1. Flexão estática

Na Tabela 3 são apresentados os valores de F e da probabilidade (*p*) em arranjo fatorial para os módulos de ruptura e elasticidade à flexão estática nos sentidos paralelo e perpendicular, bem como os valores médios obtidos nas respectivas propriedades.

Os resultados obtidos a partir da análise de variância em arranjo fatorial demonstraram que o efeito principal gramatura exerceu influência estatística significativa somente sobre os módulos de ruptura e elasticidade no sentido perpendicular, em que se verificou também que há diferença estatística significativa somente entre as gramaturas de 160 g/m² e 200 g/m².

O efeito principal tempo não exerceu influência sobre a maioria das propriedades, sendo constatada diferença estatística significativa somente entre os valores médios do módulo de elasticidade perpendicular.

A interação das variáveis tempo e gramatura indicou a inexistência de diferença estatística significativa a partir das diferentes combinações, a ponto de destacar um melhor tratamento.

De maneira geral, tanto o aumento da gramatura quanto do tempo de prensagem favoreceu as propriedades de resistência e rigidez, observando-se valores de 71,08 MPa a 76,70 MPa e de 30,61 MPa a 37,47 MPa, no módulo de ruptura nos sentidos paralelo e perpendicular, bem como valores de 7.632,46 MPa a 8.071,20 MPa e de

Tabela 1 – Delineamento experimental.
Table 1 – *Experimental design.*

Tratamento	Gramatura (g/m ²)	Tempo de prensagem (min)
1	160	8
2	180	8
3	200	8
4	160	10
5	180	10
6	200	10

Tabela 2 – Resultados médios das propriedades físicas e químicas da madeira de *Melia azedarach*.
Table 2 – Average values of physical and chemical properties of the wood of *Melia azedarach*.

Propriedade	Valor médio	Coefficiente de variação (%)
Densidade básica (g/cm ³)	0,488	4,05
Extrativos em água fria (%)	2,93	3,83
Extrativos em água quente (%)	3,85	3,61
Extrativos em NaOH (%)	12,26	1,25
Extrativos em etanol-tolueno (%)	2,95	2,85
Extrativos totais (%)	4,41	0,87
pH	5,46	1,03

Tabela 3 – Valores de F calculado e probabilidade da Anova em arranjo fatorial e resultados médios dos módulos de ruptura e elasticidade nos sentidos paralelo e perpendicular.

Table 3 – Calculated F values and probability of anova in Factorial arrangement and average values for modules of rupture and elasticity in both parallel and perpendicular directions.

Flexão estática	Sentido paralelo				Sentido perpendicular			
	MOR		MOE		MOR		MOE	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Fonte de variação								
Gramatura	0,52	0,5803 ^{ns}	1,48	0,2441 ^{ns}	4,99	0,0144*	13,17	0,0001*
Tempo	0,84	0,3459 ^{ns}	0,04	0,8470 ^{ns}	2,29	0,1422 ^{ns}	8,60	0,0064*
Gramatura x Tempo	0,20	0,8198 ^{ns}	0,01	0,9885 ^{ns}	1,34	0,2776 ^{ns}	1,02	0,3739 ^{ns}
Variável	Sentido paralelo				Sentido perpendicular			
	MOR(MPa)		MOE(MPa)		MOR(MPa)		MOE(MPa)	
A: Gramatura								
A ₁ - 160	71,35(11,41)		7.638,48(8,18)		32,80 b(10,89)		2.376,07 b(6,57)	
A ₂ - 180	74,98(12,38)		7.921,47(6,34)		36,00 ab(8,05)		2.508,43 ab(7,21)	
A ₃ - 200	75,37(11,46)		8.059,48(6,54)		37,14 a(10,15)		2.707,55 a(7,06)	
B: Tempo								
B ₁ - 8	72,40(11,16)		7.853,80(7,16)		34,43 (13,81)		2.452,83 b(8,07)	
B ₁ - 10	75,39(12,06)		7.892,49(7,24)		36,20 (7,10)		2.608,54 a(8,39)	
A x B: Gramatura x Tempo								
1 - (160-8)	71,08(13,07)		7.632,46(9,01)		30,61 (12,60)		2.266,94(5,65)	
2 - (180-8)	71,62(13,70)		7.881,17(4,40)		35,81(11,10)		2.483,82(5,40)	
3 - (200-8)	72,09(8,31)		8.047,76(8,08)		36,86(12,37)		2.607,72(6,34)	
4 - (160-10)	71,63(10,92)		7.644,51(8,33)		34,99(3,76)		2.485,21(3,74)	
5 - (180-10)	76,10(10,57)		7.961,77(8,33)		36,20(4,44)		2.533,03(9,06)	
6 - (200-10)	76,70(14,40)		8.071,20(5,36)		37,42(10,15)		2.807,37(6,09)	

MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidade; ns: não significativo; e * significativo a 95% de probabilidade. Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

2.266,94 MPa a 2.807,37 MPa, no módulo de elasticidade, também nos sentidos paralelo e perpendicular.

3.2.1. Resistência da linha de cola ao cisalhamento

A Tabela 4 apresenta os valores de F calculado e da probabilidade (*p*) em arranjo fatorial para a resistência ao cisalhamento, juntamente com os respectivos valores médios e percentuais de falha na madeira.

Para a propriedade de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento, pode-se verificar que a análise de variância em arranjo fatorial indicou a inexistência de diferenças estatísticas significativas, tanto para os efeitos principais gramatura e tempo de prensagem quanto para a interação dessas duas variáveis de resposta.

Nota-se ainda que a resistência ao cisalhamento na condição seca apresentou valores entre 2,23 MPa

Tabela 4 – Valores de F calculado e probabilidade da Anova em arranjo fatorial e resultados médios da resistência da linha de cola ao cisalhamento.

Table 4 – Calculated F and probability of Anova in factorial arrangement and average values of the resistance of the glue line to shearing.

Resistência ao cisalhamento	Seco		24 horas de imersão em água	
	F	p	F	p
Fonte de variação				
Gramatura	1,58	0,2107 ^{ns}	2,48	0,0756 ^{ns}
Tempo de prensagem	0,24	0,6223 ^{ns}	0,64	0,4258 ^{ns}
Gramatura x tempo	2,73	0,0695 ^{ns}	0,32	0,7286 ^{ns}
Variável	RLC (MPa)	Falha(%)	RLC (MPa)	Falha(%)
A: Gramatura				
A ₁ - 160	2,34(14,26)	25	2,03(15,39)	10
A ₂ - 180	2,35(14,88)	30	2,04(16,18)	18
A ₃ - 200	2,46(11,46)	56	2,21(18,02)	31
B: Tempo				
B ₁ - 8	2,37(10,65)	40	2,07(15,58)	21
B ₁ - 10	2,40(16,06)	34	2,12(18,27)	18
A x B: Gramatura x Tempo				
1 - (160-8)	2,23(13,46)	30	2,03(17,37)	11
2 - (180-8)	2,25(14,67)	20	2,02(13,61)	9
3 - (200-8)	2,44(7,79)	21	2,21(12,41)	10
4 - (160-10)	2,28(18,54)	39	2,04(18,36)	25
5 - (180-10)	2,43(8,00)	68	2,10(14,63)	43
6 - (200-10)	2,49(14,07)	43	2,23(21,22)	19

RLC: Resistência da linha de cola; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

e 2,49 MPa, e, após o pré-tratamento de 24 h de imersão em água fria, os valores situaram-se no intervalo de 2,02 MPa a 2,23 MPa, em que ambas as condições de ensaio atendem aos requisitos mínimos prescritos pela Norma EN 314-2:2002, de 1 MPa.

4. DISCUSSÃO

4.1. Densidade básica e propriedades químicas da madeira

A partir dos valores da densidade básica, pode-se afirmar que, muito possivelmente, não haverá problemas durante a formação da linha de cola, gerando linha excessivamente faminta ou, então, pouco permeável. Esse fato pode ser corroborado segundo Marra (1992), que relatou que espécies de alta densidade, por apresentarem paredes celulares mais espessas e lumes menores, tendem a limitar a mobilidade do adesivo, gerando uma linha de cola mais frágil. Entretanto, espécies de baixa densidade promovem a absorção excessiva, gerando também uma linha de cola de baixo desempenho.

Os valores médios do teor de extrativos e do pH indicam também que, provavelmente, não haverá

problemas de interação entre adesivo-madeira. De acordo com Marra (1992), esses componentes podem inibir as reações químicas de polimerização do adesivo, impedindo a fluidez, a molhabilidade e a absorção, prejudicando, assim, o desenvolvimento de resistência e coesão adequada da linha de cola. Além disso, quando uma espécie apresenta elevado teor de extrativos, cuidados devem ser adotados, principalmente, durante a secagem das lâminas, em que segundo Iwakiri (2005), dependendo das condições de secagem, podem ocorrer a migração e concentração excessiva de extrativos na superfície, formando a chamada superfície inativa ou contaminada, a qual bloqueia o contato adesivo-madeira.

4.2. Propriedades mecânicas dos painéis compensados

4.2.1. Flexão estática

Embora seja observada ocorrência de diferença estatística significativa somente nos módulos de ruptura e elasticidade no sentido perpendicular, verifica-se, de maneira geral, que o aumento da gramatura contribuiu para a melhoria das propriedades de flexão estática. Efeito similar foi igualmente observado a partir do fator tempo, em que o aumento do tempo de prensagem

promoveu ligeiro aumento também nos módulos de ruptura e elasticidade, os quais são justificados, possivelmente, pela melhor polimerização e cura do adesivo.

Considerando a interação dessas duas variáveis de resposta, embora seja notado incremento das propriedades em função do aumento da gramatura e do tempo, verifica-se a inexistência de diferença estatística significativa, destacando-se um melhor tratamento. Esse resultado pode ser considerado bastante interessante do ponto de vista industrial, pois permite maximizar a produtividade e minimizar os custos do produto, tornando o produto de *Melia* mais competitivo. Segundo Marra (1992), a quantidade de adesivo deve estar condicionada ao custo, uso e resistência mínima exigida. Lehmann (1965) afirmou que a quantidade de resina utilizada apresenta efeito considerável sobre o custo do produto final, e Silva et al. (2006) complementaram também tratar-se de um componente de elevado custo na produção, portanto a quantidade a ser aplicada deve ser otimizada conforme as propriedades requeridas.

Como a norma europeia não estabelece valores mínimos para os módulos de ruptura e elasticidade, a flexão estática e os valores de resistência e rigidez obtidos a partir dos painéis compensados de *Melia azedarach* são comparados com dados disponíveis de painéis compensados de *Pinus* colados com resina ureica e, posteriormente, com os valores apresentados pela ABIMCI para painéis compensados fenólicos; neste último caso, para obtenção geral da qualidade dos painéis produzidos.

Iwakiri et al. (2012), avaliando espécies de *Pinus* tropicais e *Pinus taeda* para a produção de painéis compensados colados com resina ureia-formaldeído (180 g/m² – linha simples), pressão de 1 MPa, 110 °C e tempo de 7 min, obtiveram valores de 72,96 MPa e 32,44 MPa e 8.541 MPa e 2.655 MPa para módulos de ruptura e elasticidade, respectivamente nos sentidos paralelo e perpendicular, a partir dos painéis de *Pinus taeda*. Já Cabral (2011), em estudo da qualidade de painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos por indústrias da região de Irati, PR, obteve valores do módulo de ruptura nos sentidos paralelo e perpendicular de 28,95 MPa a 65,84 MPa e de 18,09 MPa a 19,03 MPa, respectivamente, enquanto no módulo de elasticidade os valores variaram de 4078,99 MPa a 7451,62 MPa

no sentido paralelo e de 702,35 MPa a 1213,03 MPa no sentido perpendicular. Em relação a esses dois estudos, observou-se que *Melia azedarach* apresentou valores muito similares aos do estudo de Iwakiri et al. (2012), apresentando viabilidade técnica para essa finalidade, além da possibilidade de utilização da menor gramatura e menor tempo para reduzir os custos de produção, bem como valores consideravelmente superiores aos encontrados por Cabral (2011) a partir de painéis industriais, contribuindo, assim, para o aumento da diversidade de matéria-prima.

A Tabela 5 apresenta os valores de resistência à flexão estática e da linha de cola a partir do compensado de *Pinus* brasileiro, fornecido pela ABIMCI (2002).

Em comparação com os dados apresentados pela ABIMCI (2002), verificou-se que os valores obtidos no ensaio de flexão estática a partir dos painéis compensados de *Melia azedarach* atendem aos requisitos mínimos de MOR e MOE, em ambos os sentidos do ensaio. Observou-se ainda que, para o MOR, os resultados obtidos a partir dessa espécie, mesmo com colagem ureica, ultrapassaram os valores máximos mencionados, indicando um produto de elevada resistência. Já para o MOE foram verificados valores mais modestos, os quais, além de atenderem ao valor mínimo no sentido paralelo, são similares aos valores médios do compensado de *Pinus* brasileiro e, no sentido perpendicular, superam a média e muito se aproximam do valor máximo. Em razão desse resultado, pode-se afirmar que é uma espécie de elevado potencial para a produção de painéis compensados.

4.2.2. Resistência da linha de cola ao cisalhamento

A partir dos valores da resistência da linha de cola ao cisalhamento, notou-se também ligeiro aumento na propriedade com o aumento da gramatura e do tempo de prensagem, o qual, como mencionado anteriormente, é justificado pela maior umectação e melhor polimerização do adesivo.

Considerando os requisitos normativos apresentados pela EN-314-2:2002, pode-se perceber que todos os tratamentos atingiram o valores mínimos especificados de 1 MPa, tanto no ensaio seco quanto no úmido, descartando as exigências de falha na madeira. Dessa forma, a partir desses resultados é possível, também, indicar a maximização da produtividade e redução dos custos produtivos do painel por meio da redução

Tabela 5 – Valores de resistência à flexão estática e da linha de cola do compensado de *Pinus* de 9 mm e cinco lâminas.
Table 5 – Values of resistance to bending and glue line of pine plywood of 9 mm and 5 veneers.

Valores	Flexão estática paralela		Flexão estática perpendicular		Resistência da linha de cola	
	MOR	MOE	MOR	MOE	Seco	Úmido
Mínimo	30,69	11573,42	13,93	1476,10	2,06	1,08
Médio	48,84	8382,43	21,97	2229,44	2,84	1,67
Máximo	66,98	5191,54	30,11	2956,41	3,73	2,16

Valores adaptados de kgf/cm² para MPa.
 Fonte: ABIMCI, 2002.

da gramatura ou de outras formulações que reduzam o teor de sólidos, bem como pela redução do tempo de permanência do painel na prensa.

A partir dos dados disponíveis na literatura, verifica-se que os valores médios de todos os tratamentos foram superiores aos encontrados por Iwakiri et al. (2012), que obtiveram para painéis de *Pinus taeda* resistência da linha de cola ao cisalhamento de 1,95 MPa no ensaio seco e 1,17 MPa no ensaio úmido e aos determinados por Cabral (2011), que verificou baixa qualidade de colagem, sendo de 0,55 a 0,69 MPa no ensaio seco e de 0,07 a 0,33 MPa no ensaio úmido.

Em comparação com os resultados obtidos a partir do compensado fenólico de *Pinus* brasileiro (Tabela 5), notou-se que *Melia azedarach* apresentou valores similares ao valor médio do ensaio seco e superiores quando os corpos de prova foram avaliados na condição úmida.

5. CONCLUSÕES

Com base nas comparações com o *Pinus taeda*, espécie mais empregada comercialmente, segundo dados da literatura e requisitos da Norma EN para a resistência da linha de cola, a espécie *Melia azedarach* apresenta alta viabilidade técnica para a produção de painéis compensados ureicos, aumentando a diversidade de matéria-prima para a indústria moveleira.

Os efeitos principais gramatura e tempo de prensagem não influenciaram acentuadamente as propriedades mecânicas dos painéis compensados.

Não foi evidenciada diferença estatística significativa a partir das interações entre gramatura e tempo de prensagem, indicando a maximização da produtividade e minimização dos custos de produção, por meio da utilização da menor gramatura e do menor tempo de prensagem.

A espécie apresenta resultados satisfatórios e promissores em comparação com os valores mencionados pela ABIMCI para painéis compensados fenólicos de *Pinus*.

Em razão dos resultados, é possível afirmar que *Melia azedarach* apresenta boa qualidade de colagem, sendo bastante recomendada para a produção de compensados.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Estudo Setorial 2009**: ano base 2008. Curitiba: 2009. 43p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Compensados de *Pinus***. Catálogo Técnico. Curitiba: 2002. 20p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012**: ano base 2011. Brasília: 2012. 150p.
- BOBADILLA, E.A. **Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción**. 2004. 118f. Dissertação (Maestria em Tecnologia de Madera, Celulosa y Papel) Universidad Nacional de Misiones, Misiones, 2004.
- CABEL, S. R. **Micropopagação do Cinamomo (*Melia azedarach* L.)** 2004. 96f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- CABRAL, B.M. **Qualidade de painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos por indústrias da região de Irati-PR**.

2011. 33f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Unicentro, Irati, 2011.

CAI, Z.; BIRKELAND, M.; WESCOTT, J. M.; O'DELL, J.; WINANDY, J.E. Effects of press sizes on internal steam pressure during particleboard hot-pressing process. **Forest Products Journal**, v.59, n.4, p.40-44, 2009.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 458**. Maderas – Selección y colección de muestras. 1972a.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**. Determinación del peso específico aparente. 1972b.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R.. Alternative castor oilbased polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Materials Research**, V.7, n.3, p.413-420, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 310**. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Brussels: 2002a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 314:1** - Plywood - Bonding-quality - Part 1: Test methods. Brussels: 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 314-2** - Plywood - Bonding quality - Part 2: Requirements. Brussels: 2002b.

FENGEL, D. WEGENER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure reactions**. Berlin: 1989. 612p.

FORSS, K.G.; FUHRMANN, A. Finnish plywood, particleboard, and fiberboard made with a lignin-base adhesive. **Forest Products Journal**, v.29, n.7, p.39-43, 1979.

GARMIM. **Map Source**. Banco de dados do Garmim. GPS Garmin Map 76S. 2004.

IWAKIRI, S. ; SANCHES, F. G. ; POTULSKI, D. C. ; SILVA, J. B. ; ANDRADE, M. ; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de Pinus tropicais e Eucalipto na produção de

painéis compensados uréicos. **Floresta**, v.42, n.2, p.277-284, 2012.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupef, 2005. 247p.

LEHMANN, W.F. Improved particleboard through better resin efficiency. **Forest Products Journal**, v.15, n.4, p.155-162, 1965.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2.ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689p.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principles and practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MATOS, J.L.M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. 1988. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MELO, J.E.; CORADIN, V.T.R.; MENDES, J.C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, FLORESTAS E MEIO AMBIENTE: CONSERVAÇÃO E PRODUÇÃO, PATRIMÔNIO SOCIAL, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: 1990. p.695-699.

SILVA, G.A.; MENDES, L.M.; TRUGILHO, P.F.; SANTOS, I.F.; PADUA, F.A. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p.51-60, 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI 204**: Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta: 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI 207**: Water solubility of wood and pulp. Atlanta: 1999a.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI 280**: Acetone extractives of wood and pulp. Atlanta: 1999b.



TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI 212**: One percent sodium hydroxide solubility of wood and Pulp. Atlanta: 2002a.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI 252**: pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta: 2002b.

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. (Ed.). **Wood-based panels an introduction for specialists**. Londres: Brunel University Press, 2010.

VENSON, I. **Estudio de las propiedades de la madera de *Melia azedarach* Linn.** 2003. 119f. Maestria (Maestro en Ciencia de Productos Forestales) - Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 2003.

VIVAN, M.P.; FARIAS, J.A.; HOPPE, J.M. Avaliação da germinação de sementes de cinamomo gigante (*Melia azedarach*) em função de diferentes métodos de beneficiamento de sementes. **Caderno de Pesquisa**. Série Biologia, v.17, n.2, p.59-67, 2005.