

Recebido: 29-04-2014 Aceito: 07-08-2014

Utilização de lignosulfonato de amônio na produção de painéis aglomerados

Thiago Souza da Rosa^{1*}, Éverton Hillig²¹Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.²Doutor, Professor do curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Irati, PR.

RESUMO O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do lignosulfonato de amônio como adesivo na produção de painéis aglomerados de *Pinus sp.*, utilizado puro ou em mistura com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. O experimento foi instalado em um planejamento em rede “centroide simplex” para mistura de três componentes. Dessa maneira, foram produzidos painéis com os três tipos de adesivos e suas combinações, totalizando sete tratamentos com duas repetições. Os painéis com lignosulfonato de amônio apresentaram resistência mecânica e estabilidade dimensional semelhante e inferior aos painéis produzidos com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. Quando em mistura com os outros adesivos, o uso do lignosulfonato de amônio proporcionou melhores propriedades físicas e mecânicas aos painéis do que quando produzidos com esse adesivo puro. Concluiu-se que a utilização de lignosulfonato de amônio, nas condições desse estudo, é possível somente como aditivo em outros adesivos, como a ureia-formaldeído e tanino-formaldeído.

Palavras-chave: *Pinus sp.*, lignosulfonato, tanino.

Use of ammonium lignosulfonate in the production of particleboards

ABSTRACT The aim of this study was to evaluate the feasibility of ammonium lignosulfonate as adhesive in manufacturing of particleboards made with *Pinus sp.*, considering its pure use or mixed with tannin-formaldehyde and urea-formaldehyde glues. The experimental model was performed in a network planning “simplex centroid” for three components mixture. Thus, panels were prepared with three types of adhesives and its combinations, totaling seven treatments with two replications. The panels made with lignosulfonate showed similar and lower dimensional stability in relation to the panels made with urea-formaldehyde and tannin-formaldehyde. When mixed with other adhesives, ammonium lignosulfonate provided better physical and mechanical properties for the panels than those panels only made with ammonium lignosulfonate. Considering the conditions of this study, we concluded that use of ammonium lignosulfonate, is possible only as additive in other adhesives, such as urea-formaldehyde and tannin-formaldehyde.

Keywords: Parana Pine, lignosulfonate, tannin.

* Autor correspondente: thiagosouzarosa@florestal.eng.br

Introdução

Os adesivos utilizados pelas indústrias de painéis de madeira são predominantemente sintéticos, devido às suas características de melhor trabalhabilidade e fácil obtenção, além das propriedades de resistência que oferecem, tanto para uso em ambientes internos como externos (GURGEL, 2008).

O adesivo mais utilizado pelas indústrias de painéis aglomerados é a ureia-formaldeído. De acordo com Albuquerque et al. (2005), este adesivo tem vantagem em relação ao seu custo quando comparado com os adesivos melamina-formaldeído e fenol-formaldeído, entretanto, apresenta baixa resistência à umidade, sendo classificado como de uso interior.

A matéria-prima da ureia-formaldeído provém de produtos derivados do petróleo, tornando o seu custo alto em relação ao custo total dos painéis. Além disso, o petróleo é um material em esgotamento crescente, tornando-se importante que se desenvolvam pesquisas que viabilizem a alteração ou substituição desses adesivos por outros, principalmente os derivados de fontes renováveis e que permitam a produção de painéis com menor custo e de boa qualidade.

O tanino, obtido de fontes renováveis, é um polifenol com potencial para a substituição das resinas sintéticas utilizadas na fabricação de painéis de madeira aglomerada e compensados. Os taninos são encontrados em maior quantidade na casca de Acácia Negra (*Acacia mearnsii*) e Pinus (*Pinus radiata*), e também na madeira do cerne de Quebracho (*Schinopsis* sp.). Estes taninos possuem grande poder de ligação, quando condensados com o formaldeído a um certo pH, tornando-se uma resina (TOSTES et al., 2004). Atualmente, podem ser encontrados adesivos de tanino-formaldeído em escala comercial, mas estes ainda são pouco utilizados na indústria de painéis aglomerados.

Segundo Frihart (2012), os taninos possuem três limitações quando comparados com adesivos sintéticos: a

elevada viscosidade, a disponibilidade limitada e a inconsistência, ou seja, fonte de reatividade. Por apresentar estrutura policíclica, os taninos possuem rápida velocidade de cura, além de tornar as soluções de elevada viscosidade. A diluição das soluções a fim de diminuir a viscosidade, gera vapor adicional na prensagem a quente dos painéis. Além disso, os autores afirmam que os taninos existem em concentrações altas o suficiente para serem comercialmente viáveis em algumas espécies, mas não estão disponíveis em grandes quantidades ao ponto de competir com os adesivos sintéticos.

A lignina é o segundo polímero natural mais abundante nas plantas e é um subproduto obtido da indústria de polpação. Os lignosulfonatos são obtidos pela sulfonação das ligninas provenientes do licor negro, obtido principalmente no processo de polpação sulfito da madeira para a obtenção da celulose (OLIVEIRA, 2010). A polpação sulfito representa apenas 10% da polpação total no mundo, porém, merece destaque no quesito obtenção de lignosulfonato, pois quando comparado com o processo Kraft, o processo sulfito resulta em maior quantidade de lignina extraída no licor negro e menor dispêndio de energia.

Segundo Hu et al. (2011), menos do que 5% do total de lignina do mundo tem sido usado para outros fins, tais como materiais para lonas de freio para automóveis, produtos de painéis de madeira, resinas fenólicas, dispersantes, espumas de poliuretano, espumas fenólicas, resinas de epóxi e surfactantes. Atualmente, desenvolvem-se pesquisas visando a otimização do uso de lignosulfonatos com resina fenólica como o estudo feito por Akhtar et al. (2011). Os autores concluíram que a substituição da resina fenol-formaldeído por lignina de 20 a 50% oferece repelência à água, além de ter um efeito econômico positivo e reduzir a poluição causada por drenagem do licor negro em rios e córregos.

Já existem produtos comerciais à base de lignosulfonatos como o VIXIL[®]III, sendo que, segundo o fabricante, o lignosulfonato de amônio é um produto que contém em sua composição cerca de 22% de açúcares redutores. Dessa maneira, apresenta, além de suas propriedades dispersantes, um poder adesivo, podendo também ser utilizado na maioria das aplicações que requerem um agente aglomerante essencialmente orgânico (MELBAR, 2002). Em função da necessidade de modificar ou substituir os adesivos derivados do petróleo por resinas provenientes de fontes naturais renováveis, existem também diversas pesquisas de substituição parcial de resinas sintéticas por resinas obtidas de fontes naturais.

Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de utilização do lignosulfonato de amônio na forma de adesivo, juntamente com os adesivos de tanino-formaldeído e ureia-formaldeído, puros e em misturas, na produção de painéis de madeira aglomerada.

Material e Métodos

Matéria-prima

Foram utilizadas partículas de madeira de *Pinus sp.*, do tipo “sliver”, provenientes de uma indústria de aglomerados da região de Guarapuava-PR. Já os adesivos utilizados foram a ureia-formaldeído (UF), tanino-formaldeído (TF) e lignosulfonato de amônio. Foi também utilizada parafina como aditivo para reduzir a higroscopicidade dos painéis e catalisador sulfato de amônio para acelerar a cura da ureia-formaldeído. As características dos adesivos utilizados, encontram-se na Tabela 1.

A ureia-formaldeído foi recebida em solução a 67% de sólidos, sendo utilizada na proporção de 10% sobre o peso seco de partículas e adicionado 2% de catalisador sobre peso do adesivo.

O tanino foi recebido em pó solúvel. Para formulação do adesivo, o pó foi diluído a 45% em água, sendo acrescentados 10% de solução de formol (37% de sólidos) e 10% de álcool etílico à solução, conforme recomendado pelo catálogo do fabricante.

Tabela 1. Características dos adesivos utilizados no estudo.
Table 1. Characteristics of the adhesives used in the study.

	Adesivo		
	UF ¹	TF ²	LA ³
Matéria-prima	Petróleo	<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Pinus taeda</i>
Cor	Leitosa-branca	Marrom-escuro	Amarelo-escuro
Forma	Líquida	Pó	Pó
pH	7,6 – 8,2	6,6 – 6,9	3,0 – 4,0
Viscosidade	300–400 cP	100-700 cP	50-100 cP

UF = Ureia-formaldeído; TF = Tanino-formaldeído; LA = Lignosulfonato de amônio; ¹MOMENTIVE, 2012; ²TANAC, s.d.; ³MELBAR, 2002.

Para compor o adesivo de lignosulfonato, seguiu-se o mesmo procedimento utilizado para o tanino. Quando constatado baixa umidade por meio dos cálculos, foi adicionado a cada adesivo a quantidade necessária de água para obter a umidade desejada do colchão para cada tratamento.

Produção dos painéis

Foram produzidos 14 painéis aglomerados, com 50 cm de aresta, 9,3 mm de espessura e 0,75 g/cm³ de densidade nominal.

As partículas foram secas a um teor de umidade de aproximadamente 3% em estufa laboratorial com ventilação forçada à 60±2°C. Após a secagem, as partículas foram inseridas em um tambor rotativo e aplicou-se o adesivo e emulsão de parafina por meio de um compressor a ar com pistola aplicadora.

Para a formação do colchão, o material foi pré-prensado à frio em uma caixa formadora de 50 x 50 x 20 cm e posteriormente levado à prensa de pratos.

A prensagem a quente foi realizada em prensa hidráulica com 40 kgf/cm² de pressão específica e temperatura dos pratos de 160±2°C. O tempo de prensagem foi determinado de acordo com a umidade do colchão, em função do adesivo utilizado (Tabela 2). Os painéis confeccionados foram dispostos em câmara climatizada à 20±2°C e 65±5% de umidade relativa do ar para estabilização.

Após a estabilização dos painéis, foram aparadas 5 cm de bordas e confeccionados os corpos-de-prova em serra fita estreita. Os corpos-de-prova foram lixados manualmente e levados novamente para a climatização, até obterem a temperatura e umidade constante para realização dos ensaios físico e mecânicos.

Testes físicos e mecânicos

Foram amostrados dois painéis para cada tratamento e utilizadas três amostras para cada teste. Os testes físicos e mecânicos realizados foram: densidade aparente, teor de umidade, absorção d'água, inchamento em espessura, flexão estática, arrancamento de parafusos e ligação interna, todos seguindo os procedimentos da ASTM D1037-06a (2006). Os testes mecânicos foram realizados em máquina de ensaios EMIC DL 30000.

Modelo experimental e análise Estatística

Para as propriedades de densidade aparente e teor de umidade, foi aplicado o teste de Bartlett para confirmar a homogeneidade das variâncias, e então, realizada análise de variância e Teste Tukey para comparação das médias, visando confirmar que não houve diferenças de densidade entre os tratamentos e para análise da umidade de equilíbrio dos painéis.

Para as demais propriedades, o modelo experimental foi constituído de sete tratamentos, sendo analisado em duas etapas. Na primeira etapa, foram apresentadas as médias por tratamento e realizada análise de variância. Na segunda etapa, os resultados foram analisados num planejamento em rede “centróide simplex” para mistura de três componentes, ou seja, mistura dos três tipos de adesivos. Esse modelo utiliza-se de equações simples, duplas e triplas com o mesmo número de ensaios que o número de coeficientes que se quer estimar. Dessa forma, foi possível analisar a influência da proporção de cada adesivo utilizado, bem como das interações entre suas misturas, nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos. Na Tabela 2, pode-se observar o modelo experimental, juntamente com a umidade do colchão e o tempo de prensagem utilizados.

Resultados e Discussão

Propriedades físicas dos painéis

Para os valores de densidade aparente, não foi observado diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 3), não sendo necessário o uso de análise de covariância.

Tabela 3. Valores médios de densidade aparente e teor de umidade para cada tratamento.

Table 3. Average of apparent density and moisture content for each treatment.

Trat.	Da (g/cm ³)	CV (%)	TU (%)	CV (%)
1	0,75	6,9	9,68 bc	4,1
2	0,74	8,3	11,47 a	7,1
3	0,77	6,2	10,68 ab	6,6
4	0,73	8,2	9,26 bc	26,4
5	0,76	8,2	8,45 c	9,1
6	0,75	8,6	9,20 bc	5,7
7	0,78	7,9	9,06 c	8,8
Razão F	0,98 ^{ns}	-	8,57 [*]	-

Da=Densidade aparente; TU=Teor de umidade; CV = Coeficiente de Variação; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de significância. * = Significativo à 5% de probabilidade de erro; ^{ns} = Não significativo à 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2. Modelo experimental, valores de umidade do colchão e tempo de prensagem utilizados para produção dos painéis.**Table 2.** Experimental design, values of moisture mattress and pressing time used to manufacture of panels.

Tratamento	Proporção de adesivo (%)*			Umidade do colchão (%)	Tempo de prensagem (min)
	Ureia-formaldeído	Tanino-formaldeído	Lignosulfonato de Amônio		
1	100	0	0	10	10
2	0	100	0	18	15
3	0	0	100	18	15
4	50	50	0	14	12
5	50	0	50	14	12
6	0	50	50	18	15
7	33	33	33	15	13

*Proporção sobre peso seco de partículas.

Pode-se observar que houveram diferenças estatísticas para o TU entre o tratamento 2 e os demais tratamentos com exceção do tratamento 3, o que mostra que os painéis produzidos com adesivo de tanino puro obtiveram maior média do que aqueles produzidos com somente ureia. Em geral, ocorre uma diminuição do teor de umidade de equilíbrio dos painéis em relação à madeira que lhes deu origem. Modes (2010) encontrou valor médio de 13,88% para teor de umidade equilíbrio da madeira de *Pinus taeda* L., sendo este superior aos valores encontrados para painéis neste estudo. Isto se deve em função da pequena perda de água de constituição e consequente diminuição da polaridade dos grupos funcionais hidroxila que ocorre devido à exposição do painel à alta temperatura da prensa.

Para a propriedade de absorção de água em 2 h não foi observado diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 4). Para a mesma propriedade em 24 h, os tratamentos três e cinco mostraram-se diferentes dos demais tratamentos. O IE em 2 h de ensaio apresentou resultado significativamente maior no tratamento cinco, com acréscimo em torno de 25% quando comparado com os tratamentos um e três onde os

adesivos foram utilizados separadamente. Já no inchamento em 24 h os tratamentos três, cinco e sete foram diferentes estatisticamente, sendo o tratamento três com maior valor médio, com acréscimo em torno de 103% quando comparado aos tratamentos um e dois, em que foram utilizados os demais adesivos puros.

Para os tratamentos 1, 2 e 4, os valores obtidos neste trabalho para as propriedades de AA 2h e 24 h, foram inferiores aos encontrados por Almeida (2010) que trabalhou com *Pinus oocarpa* para tratamentos semelhantes. Pode-se observar que os tratamentos 3, 5 e 7 que continham lignosulfonato de amônio apresentaram valores elevados de AA 24 h e IE 24 h quando comparados aos outros tratamentos. Dessa forma, a presença de lignosulfonato de amônio nas misturas diminuiu consideravelmente a resistência à água dos painéis.

Os valores médios observados para IE em 2 h variaram de 14,25% (trat. 1) a 42,52% (trat. 5) com um aumento de 28,27% e para IE em 24 h de 28,04% (trat. 2) a 136,06% (trat. 3), com um aumento de 108,02%. Isso mostra que para estas propriedades, foram relatados maiores valores nos

Tabela 4. Valores médios de estabilidade dimensional para cada tratamento.**Table 4.** Average of dimensional stability for each treatment.

Tratamento	AA 2h (%)	CV (%)	AA 24h (%)	CV (%)	IE 2h (%)	CV (%)	IE 24h (%)	CV (%)
1	24,1	41,8	81,9 b	5,6	14,2 b	32,6	37,1 d	7,9
2	26,6	29,7	72,8 b	17,3	14,8 b	27,8	28,0 d	14,9
3	31,6	29,0	149,2 a	13,3	19,8 b	56,9	136,1 a	10,1
4	38,9	21,3	80,9 b	9,2	23,2 b	6,1	33,4 d	10,3
5	43,4	17,9	156,5 a	8,8	42,5 a	17,2	105,2 b	4,6
6	21,0	57,7	76,8 b	38,7	15,3 b	45,9	34,7 d	28,7
7	40,5	42,7	103,9 b	19,5	30,5 ab	32,6	55,4 c	17,0
Razão F	2,53 ^{ns}	-	16,33 [*]	-	8,07 [*]	-	110,66 [*]	-

AA 2h = Absorção de água após 2 horas de imersão; AA 24h = Absorção de água após 24 horas de imersão; IE 2h = Inchamento em espessura após 2 horas de imersão; IE 24h = Inchamento em espessura após 24 horas de imersão; CV (%) = Coeficiente de variação em porcentagem; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de significância. * = Significativo à 5% de probabilidade de erro; ^{ns} = Não significativo à 5% de probabilidade de erro.

tratamentos que continham lignosulfonato de amônio do que aqueles com sua ausência. Os resultados de inchamento em espessura após 2 h estão acima dos padrões exigidos pela norma brasileira NBR 14.810 da ABNT (2006), que estabelece que o valor máximo deve ser de 8%, mostrando que os painéis apresentaram baixa resistência à umidade.

Na Tabela 5 são apresentadas as equações estimadas para as propriedades de estabilidade dimensional após o descarte dos coeficientes não significativos pelo teste “t”, ajustados em

função dos sete tratamentos estudados, juntamente com seus erros padrão e o valor de F calculado pela análise de variância.

Analisando a equação encontrada para AA em 2 h, verificou-se que não houve interação entre os diferentes adesivos utilizados, pois nenhum coeficiente dos tratamentos de mistura de adesivos foi significativo. Verificou-se que o adesivo de ureia e de tanino tiveram influência semelhante sobre a AA em 2 h, com coeficientes iguais a 0,241 e 0,267, respectivamente. Por outro lado, o coeficiente encontrado para o adesivo de lignosulfonato, de 0,316, demonstra que

Tabela 5. Equações estimadas para as propriedades de estabilidade dimensional dos painéis.**Table 5.** Dimensional stability estimated equations of the panels.

Propriedade	Equação ^s	Erro Padrão da Regressão			F	R ²
		Simples	Dupla	Tripla		
AA 2h	AA 2h=0,241.PU+0,267.PT+0,316.PL	0,05658	0,00277	0,00020	35,392*	0,425
AA 24h	AA24h=0,819.PU+0,728.PT+1,492.PL+0,016.PU.P L -0,014.PT.PL	0,08971	0,00439	0,00032	145,631*	0,817
IE 2h	IE2h=0,143.PU+0,148.PT+0,198.PL+0,010.PU.PL	0,03683	0,00180	0,00013	46,747*	0,705
IE 24h	IE24h=0,371.PU+0,280.PT+1,361.PL+0,007.PU.PL- 0,019.PT.PL	0,04070	0,00199	0,00014	320,233*	0,969

^s = Equações estimadas com coeficientes significativos à 5% de probabilidade de erro pelo teste T. *Significativo à 5% de probabilidade de erro. AA= Absorção de água (%); IE= Inchamento em espessura (%); PU = Proporção de ureia; PT = Proporção de tanino; PL = Proporção de lignosulfonato.

que este foi menos resistente à absorção de água.

Para as demais propriedades de estabilidade dimensional, foi verificada tendência semelhante, no entanto, verificou-se

uma interação significativa quando utilizados os adesivos de ureia e lignosulfonato em mistura. Para AA e IE em 24 h, verificou-se uma interação positiva entre os adesivos de tanino e lignosulfonato, pois estes, em mistura, apresentaram valores semelhantes aos obtidos para o adesivo de tanino.

Destaca-se que os painéis produzidos com o adesivo ureia-formaldeído apresentaram maiores valores de AA 24 h e IE 24 h do que os produzidos com o adesivo de tanino-formaldeído. Segundo Fechtal; Riedl (1993), os adesivos obtidos a partir de extratos de taninos de acácia são mais resistentes à água que os adesivos à base de ureia, devido presença do anel éter na estrutura flavonóide, o qual é hidrofóbico.

Propriedades mecânicas

Os valores de MOE não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 6). Contudo, para o MOR apenas o tratamento três mostrou-se diferente estatisticamente, apresentando menor média para esta propriedade. Para as propriedades de LI e AP Per, os

tratamentos três e cinco mostraram-se semelhantes estatisticamente sendo o tratamento 3 com menor valor médio. No AP Par, os tratamentos 3, 5, 6 e 7 mostraram-se semelhantes entre si. Pode-se observar que todos os tratamentos que continham lignosulfonato de amônio apresentaram menores valores médios para as propriedades mecânicas.

Os valores obtidos para MOR nos tratamentos um, dois e quatro foram superiores aos valores máximos obtidos por Almeida (2010) de 1,86 MPa para ureia-formaldeído, para tanino-formaldeído 0,70 MPa e 1,60 MPa. O mesmo ocorreu para o MOE, onde o mesmo autor obteve 182 MPa para ureia-formaldeído, para tanino-formaldeído 117,1 MPa e para ureia-formaldeído + tanino-formaldeído 202,64 MPa.

Tabela 6. Valores médios das propriedades mecânicas obtidos para cada tratamento.

Table 6. Average of mechanical properties to each treatment.

Tratamento	MOR (MPa)	CV (%)	MOE (MPa)	CV (%)	LI (MPa)	CV (%)	AP Per (N)	CV (%)	AP Par (N)	CV (%)
1	14,3 a	18,4	1781,5 a	15,9	0,8 a	19	945,7 b	19,7	910,1 a	29,6
2	11,1 abc	21,4	1853,4 a	13,8	0,9 a	15,1	1007,5 b	22,3	723,2 abc	37,2
3	5,4 d	20,6	1669,5 a	13,9	0,2 c	31,8	391,4 d	11,3	221,5 d	33,3
4	13,8 ab	20,6	2148,2 a	10,1	0,7 a	7,8	1266,6 a	8,4	733,6 ab	40,7
5	9,2 cd	12,7	2152,8 a	12,9	0,3 bc	13,6	606,5 cd	26,1	268,2 d	47
6	9,2 bc	30,6	1987,9 a	29	0,4 b	25,8	833,4 bc	8,9	533,6 bcd	25,4
7	10,8 abc	18,5	1860,8 a	20,9	0,4 b	17,5	647,0 c	13,2	337,1 cd	35,5
Razão F	10,40 *	-	1,71 ^{ns}	-	50,65 *	-	26,15 *	-	10,23 *	-

MOR = Módulo de ruptura; MOE = Módulo de elasticidade; LI = Ligação interna; AP Per = Arrancamento de parafuso perpendicular à superfície; AP Par = Arrancamento de parafuso paralelo à superfície; CV (%) = Coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de significância.

* = Significativo à 5% de probabilidade de erro; ^{ns} = Não significativo à 5% de probabilidade de erro.

Com exceção do tratamento três, na propriedade de MOR, todos os outros valores foram considerados aceitáveis para Classe I de aglomerados de acordo com a norma norte-americana CS 236-66 (1968), que exige um valor mínimo de 5,5 MPa (56 kgf/cm²) para MOR e 1029,7 MPa (10500

kgf/cm²) para MOE. Quando comparados à norma A208.1 (ANSI, 1999), apenas os valores obtidos para os tratamentos um, dois e quatro se mostraram superiores ao mínimo exigido de 11 MPa para MOR. Por outro lado, os valores de MOE, com exceção do tratamento três, mostraram-se

superiores ao da norma que exige um valor mínimo de 1725 MPa.

Para ligação interna (LI) os valores encontrados foram superiores aos encontrados por Melo et al., (2010), que trabalharam com *Eucalyptus grandis* e obtiveram em seu trabalho, valores de 0,20 MPa para ureia-formaldeído e 0,26 MPa para tanino-formaldeído. Porém, Carneiro et al. (2009), em seu estudo com adesivo tânico e ureia-formaldeído obtiveram valores de LI que variaram entre 0,54 e 0,80 MPa, sendo estes semelhantes aos encontrados neste trabalho. De acordo com a norma A208.1 (ANSI, 1999), nota-se que apenas os valores obtidos para os tratamentos três e cinco mostraram-se inferiores ao mínimo exigido, de 0,40 MPa, o que mostra que o lignosulfonato de amônio possui baixa resistência adesiva e que, mesmo quando associado a ureia-formaldeído, os resultados não são satisfatórios.

Em relação ao arrancamento de parafusos (AP), no perpendicular à superfície alguns valores mostraram-se inferiores aos mínimos encontrados por Pedrazzi et al. (2006), de 333,43 N. Porém, outros foram superiores ao máximo encontrado pelos autores, de 784,53 N. Utilizando quatro espécies de madeira para confecção de aglomerados, Sanches (2012) observou que os painéis produzidos com *Pinus* e ureia-formaldeído apresentaram valores que variaram de 459,93 a 605,56 N para arrancamento de parafuso perpendicular à superfície e 474,18 a 586,11 N para arrancamento de parafuso paralelo à superfície. Os valores encontrados pelo autor são inferiores aos encontrados neste trabalho.

Na Tabela 7 são apresentadas as equações estimadas para as propriedades de MOR, MOE, LI, AP perpendicular (Per) e paralelo (Par) à superfície, após o descarte dos coeficientes não significativos pelo teste “t”, ajustados em função dos sete tratamentos estudados, juntamente com seus erros padrão e o valor de F calculado pela análise de variância.

Na equação encontrada para MOR, verificou-se que houve interação entre os adesivos tanino-formaldeído e lignosulfonato de amônio, pois o coeficiente do tratamento desta mistura de adesivos, mostrou-se significativo com valor de 0,001. Observa-se que os adesivos à base de ureia e tanino tiveram maior influência sobre o MOR, com coeficientes de 0,143 e 0,111, respectivamente. Por outro lado, o coeficiente encontrado para o adesivo à base de lignosulfonato, de 0,054, demonstra que este teve maior influência na baixa resistência à flexão dos painéis.

Na análise da equação obtida para MOE, observou-se interação entre ureia e lignosulfonato com coeficiente significativo de 0,171. O adesivo de tanino mostrou-se de maior influência sobre esta propriedade com coeficiente de 18,534, seguido dos adesivos de ureia e lignosulfonato, com valores de 17,815 e 16,695, respectivamente.

Para LI, verificou-se que não houve interações entre os adesivos, pois nenhum coeficiente de misturas se apresentou significativo. Os adesivos de ureia-formaldeído e tanino-formaldeído mostraram-se de influência semelhante sobre esta propriedade, com valores de 0,008 e 0,009, respectivamente. O adesivo de lignosulfonato de amônio, com coeficiente de 0,002, apresentou baixa influência na propriedade de ligação interna.

No AP Per, observou-se uma interação entre os adesivos de ureia-formaldeído e tanino-formaldeído, com coeficiente de 0,116 e ainda uma interação tripla entre ureia-formaldeído, tanino-formaldeído e lignosulfonato de amônio apresentando coeficiente de -0,008. O adesivo à base de tanino apresentou melhor desempenho nessa propriedade, com coeficiente de 10,075, superando a ureia que obteve coeficiente de 9,457.

Para a propriedade de AP Par, verificou-se uma interação entre os adesivos de ureia-formaldeído e lignosulfonato de amônio, com coeficiente de -0,119, indicando que essa

Tabela 7. Equações obtidas para propriedades mecânicas dos painéis.**Table 7.** Equations of mechanical properties.

Prop	Equação ^s	Erro Padrão da Regressão			F	R ²
		Simple	Dupla	Tripla		
MOR	MOR = 0,143.PU+0,111.PT+0,054.PL+0,001.PT.PL	0,00944	0,00046	0,00033	135,952*	0,634
MOE	MOE = 17,815.PU+18,534.PT+16,695.PL+0,171.PU.PL	1,41450	0,06929	0,00498	186,065*	0,223
LI	LI = 0,008.PU+0,009.PT+0,002.PL	0,00039	0,00019	0,00014	228,555*	0,899
AP Per	AP Per = 9,457.PU+10,075.PT+3,914.PL+0,116.PU.PT-0,008.PU.PT.PL	0,56576	0,02772	0,00199	229,752*	0,82
AP Par	AP Par = 9,101.PU+7,232.PT+2,215.PL-0,119.PU.PL	0,82832	0,04058	0,00292	50,16*	0,639

*Significativo à 5% de probabilidade de erro. ^s = Equações estimadas com coeficientes significativos à 5% de probabilidade de erro pelo teste T. MOR (MPa) = Módulo de ruptura; MOE (MPa) = Módulo de elasticidade; LI (MPa) = Ligação interna; AP Per (N) = Arrancamento de parafuso perpendicular à superfície; AP Par (N) = Arrancamento de parafuso paralelo à superfície; PU = Proporção de ureia; PT = Proporção de tanino; PL = Proporção de lignosulfonato.

mistura diminuiu a resistência dos painéis ao arrancamento de parafusos quando comparados a aqueles produzidos somente com ureia. Vale destacar, que para esta propriedade, o adesivo de ureia-formaldeído mostrou-se superior, apresentando maior coeficiente (9,101) do que o adesivo tanino-formaldeído (7,232).

Os coeficientes obtidos para o adesivo de lignosulfonato de amônio nas propriedades de arrancamento de parafuso perpendicular e paralelo à superfície apresentaram valores de 3,914 e 2,215, respectivamente, mostrando-se inferiores aos demais adesivos. Este fato ocorreu pela menor capacidade de colagem deste adesivo, verificada na ligação interna. Carneiro et al. (2009), relataram que a resistência dos painéis ao arrancamento de parafuso é diretamente proporcional à qualidade de adesão entre partículas, ou seja, quanto menor for a resistência à ligação interna, menor será a força exigida para a retirada do parafuso.

Conclusões

Os painéis confeccionados com lignosulfonato de amônio apresentaram estabilidade dimensional inferior aos painéis produzidos com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído, pois apresentaram maior absorção de água e maior inchamento em espessura após 24 h de imersão em água.

Houve interação estatística entre os adesivos de lignosulfonato e ureia, e de lignosulfonato e tanino. Em mistura com tanino, o lignosulfonato ofereceu aos painéis estabilidade dimensional semelhante a aqueles produzidos com ureia e com tanino.

A presença do adesivo lignosulfonato de amônio proporcionou aos painéis menor resistência mecânica do que aqueles de ureia-formaldeído e tanino-formaldeído puros.

Em misturas com os outros adesivos, houve uma tendência de melhora das propriedades físicas e mecânicas dos painéis do que quando produzidos com lignosulfonato puro, mostrando que, nas condições desse estudo, é indicado apenas para uso em mistura outros adesivos como a ureia-formaldeído e tanino-formaldeído.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2:** Chapas de Madeira Aglomerada - Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2006.
- AKHTAR, T.; LUTFULLAH, G.; ZAHORULLAH. Lignosulfonate-phenolformaldehyde Adhesive: A Potential Binder for Wood Panel Industries. **Journal of The Chemical Society of Pakistan**, Peshawar, Pakistan, v. 33, n. 4, 2011.
- ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S.; Adesão e adesivos. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba, PR, FUPEF, 2005, p. 1-30.

- ALMEIDA, R. R. **Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa*** Schiedeex Schltl. 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Rurais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.
- ANSI – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **A208.1:** American National Standard Particleboard, Gaithersburg, Maryland, ANSI, 1999.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1037 – 06a:** Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, PA, ASTM, 2006.
- CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U.; CARVALHO, A. M. M. L.; VIDAURRE, G. B.; Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de Angico-Vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ureia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.521-531, 2009.
- CS – COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66:** Mat formed wood particleboard, Washington, USA, CS, 1968.
- FECHTAL, M.; RIEDL, B. Use of *Eucalyptus* and *Acacia mollissima* bark extract formaldehyde adhesives in particleboard manufacture. **Holzforschung**, v. 47, n. 4, p. 349 – 357, 1993.
- FRIHART, C. R. Wood adhesion and adhesives. In: ROWELL, R. M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites., **Forest Products Laboratory**, Madison, ed. 2, p. 256 – 313, 2012.
- GURGEL, M. M.; **Avaliação das propriedades de colagem de taninos de *Pinus oocarpa* e de suas misturas com taninos de acácia negra e uréia-formaldeído.** 2008. 29 f. Monografia, UFRRJ, Seropédica, RJ, 2008.
- HU, L.; PAN, H.; ZHOU, Y. ZHANG, M. Methods to improve lignin's reactivity as a phenol substitute and as replacement for other phenolic compounds: A brief review. **BioResources**, North Carolina, USA, v. 6, n. 3, 2011.
- MELBAR PRODUTOS DE LIGNINA LTDA. VIXIL'III – Lignosulfonato de amônio. **Catálogo Técnico**, São Paulo, SP, p. 5-6, 2002.
- MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M.; MULLER, M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S.; Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 497-506, jul./set. 2010.
- MODES, K. S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biologia das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.** 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Rurais), UFSM, Santa Maria, RS, 2010.
- MOMENTIVE QUÍMICA DO BRASIL LTDA. Cascamite (TM) MDP 1212. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**, Curitiba, PR, 2012, 11p.
- OLIVEIRA, F. **Lignosulfonato de sódio como agente de modificação da superfície de fibras lignocelulósicas e da formulação de termorrígido fenólico.** 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Química), USP – Instituto de Química de São Carlos, 2010.
- PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. Qualidade de chapas de partículas de madeira fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 16, n. 2, p. 201 – 212, 2006.
- SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais.** 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), UNICENTRO, Irati, 2012.
- TANAC S.A. Phenotan AG – Adesivo para aglomerados. **Catálogo Técnico**, Montenegro, RS, (sem data), 6 p.
- TOSTES, A. S.; LELIS, R. C. C.; PEREIRA, K. R. M.; BRITO, E. O. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell, **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, V. 11, n.2, p. 14 - 19, ago./dez. 2004.