

Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni

Talita Baldin¹, Amanda Grassmann da Silveira¹, Bibiana Regina Argenta Vidrano¹,
Luciano Campos Cancian², Leandro Lima Spatt³, Clovis Roberto Haselein¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, Avenida Roraima, 1000, Cidade Universitária, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: baldintalita@gmail.com; amandagrassmann@gmail.com; bibianaargenta@gmail.com; leandrolimaspatt@gmail.com; clovis.haselein@ufsm.br

² Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, Avenida Roraima, 1000, Cidade Universitária, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: lucianocancian@msn.com

³ Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Departamento de Biologia, Avenida Roraima, 1000, Cidade Universitária, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: leandrolimaspatt@gmail.com

RESUMO

A aplicação de matérias-primas alternativas na fabricação de painéis vem ganhando destaque e já é objeto de diversos estudos, dentre essas encontra-se a *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni), gramínea invasora nos campos sulinos. Objetivou-se verificar a possibilidade de utilização do capim-annoni na fabricação de painéis aglomerados. Foram utilizadas três diferentes proporções de madeira de pinus (*Pinus* sp.) e capim-annoni e, dois tipos de adesivos, uréia-formaldeído e tanino-formaldeído. A avaliação da qualidade das chapas compreendeu na determinação das propriedades físicas: teor de umidade; densidade; absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 h de imersão e das propriedades mecânicas: flexão estática; arrancamento de parafusos; ligação interna e dureza Janka. As chapas produzidas exclusivamente com madeira de pinus apresentaram melhores resultados para a maioria das propriedades físico-mecânicas, diminuídas conforme se aumentou a porcentagem de incorporação de capim-annoni. A mistura de partículas de pinus com capim-annoni foi eficiente para homogeneizar as densidades das chapas, indicando-as para aplicações que não exijam elevada solitação, tais como, isolante térmico acústico, decoração e artesanato.

Palavras-chave: painéis de partículas, propriedades físico-mecânicas, tanino-formaldeído, uréia-formaldeído

Quality of particleboard produced with different proportions of wood and capim-annoni

ABSTRACT

The application of alternative raw materials to manufacture particleboards has gained considerable attention and it is now the objective of various studies. The *capim-annoni* (*Eragrostis plana* Nees.) is an invasive grass in the southern fields of Brazil and appears to be an example of such materials. This study aimed to verified the suitability of capim-annoni as a substrate in particleboards manufacturing. Three different proportions of wood (*Pinus* sp.) and *capim-annoni* were used, and two binders were tested (urea-formaldehyde and tannin-formaldehyde). Particleboard quality was assessed through evaluation of the following features physical-mechanical properties: moisture content, density, water absorption and thickness swelling (after 2 and 24 h of immersion in water), and static bending, internal bonding, screw withdrawal and Janka hardness. Results of physical-mechanical properties were greatest in particleboard produced exclusively with pine wood and decreased as the percentage of *capim-annoni* increased. However, mixtures of pine particles with *capim-annoni* particles were effective in homogenizing plate density, which could make these particleboards suitable for applications not requiring high requests, such as thermal and acoustic insulation, decoration and small crafting.

Key words: particleboards, physical-mechanical properties, tannin-formaldehyde, urea-formaldehyde

Introdução

Os painéis de madeira aglomerada foram industrialmente produzidos usando resinas sintéticas, na Alemanha, no início da década de 40, face a dificuldade de obtenção de espécies de boa qualidade para produção de compensados, devido ao isolamento do país durante a segunda guerra mundial (Fiorelli et al., 2015). No Brasil, os painéis de madeira aglomerada, estão entre as principais matérias-primas utilizadas no setor moveleiro, e sua produção no ano de 2011 chegou a patamares extraordinários de 3.069.718 m³ (Associação de Industrias de Painéis de Madeiras – ABIPA, 2015).

Embora, em princípio, qualquer madeira possa ser empregada para a confecção de painéis aglomerados, a matéria-prima mundialmente utilizada é proveniente de reflorestamento de *Pinus* spp e, em menor escala, de *Eucalyptus* spp. A grande aceitação das espécies de pinus deve-se, primordialmente, em função da sua baixa densidade, resultando em painéis com alta razão de compactação.

Tradicionalmente em escala industrial os adesivos empregados são os fenólicos e uréicos. Contudo, no cenário atual, as empresas estão priorizando adesivos de menor custo e toxicidade. Nesse sentido, inúmeras investigações retratam a possibilidade de utilização de adesivos naturais, com grande potencial para substituir os sintéticos, tais como o tanino, obtidos da casca ou da madeira de algumas espécies florestais, a exemplo da *Acacia mearnsii* e do *Schinopsis* sp.

O capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) foi introduzido da África para o Estado do Rio Grande do Sul na década de 1950, e utilizado com o objetivo forrageiro, conforme relatos de Reis & Coelho (2000). Acreditava-se, na época, ser uma planta excelente e revolucionária, com possíveis características forrageiras, pelo seu porte vigoroso, boa produção de massa verde e de sementes. No entanto, após avaliação agrônômica, o capim-annoni mostrou-se inadequado para utilização em pastejo, devido à baixa qualidade nutricional e à elevada resistência à tração mecânica, resultando em baixa produção animal (Alfaya et al., 2002).

De difícil erradicação, *Eragrostis plana* torna-se dominante com o tempo em meio agricultável, assumindo aspecto de “monocultura”. Essa dominância decorre, possivelmente, do fato da espécie ter encontrado nos solos do Rio Grande do Sul um ambiente mais favorável para seu estabelecimento e persistência, do que o existente em seu local de origem. Além disso, conforme menciona Medeiros & Focht (2007) a planta causa efeito alelopático a espécies forrageiras nativas, agrícolas e florestais.

Face a problemática mencionada, busca-se através da pesquisa, proporcionar aos agricultores, uma alternativa para melhor aproveitamento da espécie, conhecida como planta daninha de difícil controle nos campos sulinos. A utilização do capim-annoni na produção de compósitos aglomerados, além de ser mais uma opção de material para a indústria de painéis, poderá servir como incentivo ao produtor rural para aplicar técnicas de fenação e, posteriormente, a comercialização do produto.

A confecção de painéis aglomerados com madeira e capim-annoni busca contribuir com a indústria de base florestal,

bem como, designar uma finalidade ao capim-annoni e, adicionalmente, auxiliar o produtor rural a manejar essa planta daninha em sua propriedade. Perante o exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade de painéis aglomerado fabricado com o capim-annoni combinado com a madeira de pinus com diferentes proporções e adesivos.

Material e Métodos

Para a confecção dos painéis foram utilizadas partículas de madeira de pinus (*Pinus* sp.) e *Eragrostis plana* (capim-annoni). A madeira é procedente de povoamentos florestais homogêneos, localizados na Universidade Federal de Santa Maria – RS, sob coordenadas 20° 43' 04" S e 53° 43' 35" W. As toras com 1,30 m de comprimento a partir da base foram transformadas em cavacos, enquanto que o capim-annoni, foi coletado aleatoriamente em áreas de campo nativo na cidade de Uruguaiana – RS, sob coordenadas 29° 52' 28.57" S e 57° 11' 17.59" W, onde se encontrava em florescimento pleno.

As matérias-primas foram classificadas em moinho de martelo, equipado com peneira de orifícios de 5,0 mm de diâmetro. Para a determinação fiducial da geometria das partículas, foram selecionadas, aleatoriamente, 100 amostras, e determinados parâmetros como comprimento, largura e espessura.

Posteriormente, as partículas de madeira e capim-annoni foram acondicionadas em câmara climatizada, com temperatura constante de 20 °C e umidade relativa de 65%. Após condicionadas, foram retiradas amostras para determinação do teor de umidade. Antes de iniciar a manufatura dos painéis, a matéria prima foi colocada em estufa a 60 °C, por um período de 24 horas, para alcançar um teor de umidade de aproximadamente 3%.

Para a confecção dos painéis, foi utilizado o adesivo comercial à base de uréia-formaldeído (UF) e, produzido laboratorialmente, um adesivo à base de tanino-formaldeído (TF). Na produção do TF, foi utilizado o tanino em pó extraído da espécie acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), diluído a 50% em água e hidratado por 24 horas antes da sua formulação. Posteriormente, foi necessário acrescentar a mistura hidróxido de sódio (NaOH) até atingir pH 8, sendo que, para esta medição, utilizou-se de pHmetro. O formaldeído foi adicionado apenas no momento da aplicação do adesivo, na proporção de 10% do teor de sólidos do adesivo produzido.

Os painéis foram confeccionados utilizando três diferentes proporções de madeira e capim-annoni para cada adesivo, resultando nos seguintes tratamentos: T0 (100% madeira), T1 (50% madeira e 50% capim-annoni) e T2 (100% capim-annoni), com três repetições cada, totalizando 18 painéis aglomerados, com as dimensões de 40 x 40 x 0,95 cm, conforme descrito na (Tabela 1).

A composição dos painéis foi pré-estabelecida de modo que apresentassem 89% de partículas, 9% de adesivo, 1% de catalisador e 1% de parafina, com densidade de 0,7 g cm⁻³. A predeterminação da densidade foi baseada no peso seco das partículas, no teor de sólidos do adesivo, do catalisador e da parafina empregada. Os parâmetros utilizados para a produção foram: força de prensagem de 30 kgf/cm²; temperatura dos

Tabela 1. Delineamento experimental, evidenciando os tratamentos e as composições dos painéis com as proporções entre madeira e capim-annoni

Tratamento	Tipo de adesivo	Repetições	Partículas (%)	
			Madeira	Capim-annoni
T0-UF	Uréia-formaldeído	3	100	0
T1-UF		3	50	50
T2-UF		3	0	100
T0-TF	Tanino-formaldeído	3	100	0
T1-TF		3	50	50
T2-TF		3	0	100

pratos na chapa aquecedora de 180 °C; teor de umidade do colchão de 8%; tempo de prensagem de 10 minutos e tempo de fechamento da prensa de 40 segundos.

As partículas foram misturadas ao adesivo, ao catalisador e a parafina em tambor rotativo. A aplicação desses constituintes foi por meio de uma pistola acionada por compressor de ar, com pressão de 8 Kgf cm⁻² e vazão de 50 g min⁻¹. O colchão foi formado manualmente em uma caixa de madeira com dimensões de 40 x 40 x 20 cm e pré-prensado em prensa manual à temperatura ambiente por, aproximadamente, um minuto. Após prensagem a frio, o colchão de partículas foi retirado da caixa formadora e levado à prensa hidráulica de pratos planos e horizontais, com aquecimento elétrico.

Após prensagem a quente, os painéis foram identificados para confecção dos corpos de prova, de acordo com as normas para cada teste. Esses permaneceram acondicionados em câmara climatizada, até atingirem peso constante.

A avaliação da qualidade de painéis produzidos compreendeu na determinação das propriedades físicas: teor de umidade; densidade; absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão e das propriedades mecânicas: flexão estática; arrancamento de parafuso; ligação interna e dureza Janka, adotando as recomendações da norma ASTM D 1037 (1998).

Os dados das propriedades físico-mecânicas foram avaliados com o auxílio do *software* estatístico Genes (Cruz, 2001), com as variáveis avaliadas em arranjo fatorial 3x2 (três percentuais de capim-annoni e dois tipos de adesivo). Rejeitada a hipótese de nulidade, foi aplicada a comparação de médias por meio de um teste de Tukey (5%) para o fator percentual de capim-annoni e teste F (5%) para o fator tipo de adesivo.

Resultados e Discussão

Geometria das partículas

Foi comprovada estatisticamente a diferença entre os dois tipos de partículas apenas para a razão de planicidade e densidade a granel (Tabela 2). Na avaliação das características dimensionais todos os materiais foram condicionados da mesma forma, assim o teor de umidade não influenciou nos

resultados obtidos. Igualmente, a compactação dos materiais também foi controlada.

O maior valor médio de densidade a granel foi das partículas de pinus, posto que, as partículas de capim-annoni são porosas, com espaço vazio e grande área superficial, assumindo como as possíveis razões para a sua baixa densidade.

Densidades a granel próximas, ou menores que 0,1 g cm⁻³, como encontradas no capim-annoni (0,065 g cm⁻³), na casca do café (0,16 g cm⁻³) e na casca de arroz (0,11 g cm⁻³) conforme classificação proposta por Vale et al. (2011), são consideradas leves e, nesse caso, pouco indicadas quando utilizadas puramente na produção de painéis aglomerados que exijam esforços de resistência mecânica.

Quanto ao índice de esbelte, embora estatisticamente semelhantes, as partículas longas e finas do capim-annoni resultam em maior índice (7,64) e, tenderiam, a produzir painéis com maior resistência à flexão estática e estabilidade dimensional. Em relação aos valores de índice de esbelte disponíveis na literatura para painéis de partículas de madeira, Naumann et al. (2008) mencionam entre 8,82 e 15,97 para *Schizolobium amazonicum* e 11,80 e 24,68 para *Eucalyptus urophylla* e Trianoski et al. (2011) obteve 10,78 para *Pinus taeda*. Os valores discrepantes são atribuídos às espécies, tipo de equipamento para geração dos cavacos, e espessura desejada e compatível com o produto final.

A média da razão de planicidade foi maior nas partículas madeiráveis favorecendo o processo de aplicação da resina, a formação do colchão e a área de contato entre as partículas. Os resultados referem que o painel formado por esse material possui menos espaços aerados, favorecendo a distribuição da resina e a colagem.

Densidade e teor de umidade dos painéis

Com relação aos teores de umidade (Tabela 3) verifica-se diferenças estatísticas entre as médias dos painéis, maior em T0 (100% madeira) e menor em T2 (100% capim-annoni). A composição madeira e capim-annoni, como verificado no T1, ocasionou valores intermediários. A camada cerosa que envolve as gramíneas, caso do capim-annoni, reflete diretamente nos baixos valores de umidade. Melo et al. (2009) reportam para a casca de arroz valores semelhantes, entre 8,3 e 8,6%.

Entre os adesivos houve diferença significativa, posto que, os painéis confeccionados com uréia-formaldeído, mostraram-se mais higroscópicos. A interação entre os tratamentos e os adesivos não foi significativa (Tabela 3).

Os percentuais do teor de umidade apresentaram valores dentro do intervalo proposto pela norma brasileira ABNT NBR 14810 (2006a), entre 5 a 11%. Os valores de umidade encontrados no estudo, considerados aceitáveis para utilização industrial dos painéis, podem estar correlacionados com a incorporação da parafina no momento da fabricação, deixando o painel menos reativo à água.

Tabela 2. Valores médios das características das partículas de pinus e capim-annoni

Tratamento	Comp. (mm)	Esp. (mm)	Larg. (mm)	Vol. (mm ³)	Iez	Rp	DeG (g cm ⁻³)
Capim-annoni	26,20 a	0,29 b	1,23 b	10,49 b	7,64 a	0,43 b	0,065 b
Pinus	14,62 b	0,53 a	2,15 a	17,72 a	7,58 a	1,22 a	0,175 a

*Em que: Comp. – Comprimento, Esp. – Espessura, Larg. – Largura, Vol. – Volume, Iez – Índice de esbelte, Rp – Razão de planicidade (relação entre a largura/espessura), DeG – Densidade a granel.

**Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F à 5% de probabilidade.

Tabela 3. Valores médios de densidade e teor de umidade nos tratamentos em função do adesivo

	Uréia	Tanino	Média
Teor de umidade (%)			
T0	10,35 ^{ns}	7,99	9,17 A
T1	10,14	7,66	8,90 AB
T2	10,05	7,37	8,71 B
Média geral	10,18 a	7,68 b	
Densidade (g cm ⁻³)			
T0	0,77 ^{ns}	0,75	0,76 A
T1	0,69	0,77	0,73 A
T2	0,61	0,61	0,61 B
Média geral	0,69 a	0,71 a	

^{ns} Não significativo para interação entre os fatores. Médias de cada fator são comparadas entre si pelo teste de Tukey para o fator percentual de capim-annoni e teste F para o fator tipo de adesivo à 5% de probabilidade.

Na análise de variância da densidade, não foi encontrada diferença significativa para a interação entre os tratamentos e os adesivos, e para o fator adesivo, obtendo-se uma média geral de 0,70 g cm⁻³, coincidindo com o valor da densidade nominal pré-estabelecida na confecção dos painéis. Os resultados reforçam que, a densidade dos painéis confeccionados, neste caso, independe do adesivo utilizado.

O material de origem influenciou significativamente na densidade, ao passo que, a combinação de madeira de pinus com o capim-annoni, e o painel formado exclusivamente por madeira, apresentaram valores superiores (0,73 e 0,72 g cm⁻³, respectivamente), seguido pelo tratamento T2, que mostrou valor ligeiramente inferior (0,61 g cm⁻³).

A ABNT NBR 14810-2 (2006b) especifica que a densidade média para painéis de madeira aglomerada pode variar de 0,551 a 0,750 g cm⁻³. Desta forma, pode-se afirmar que todos os painéis confeccionados atenderam os requisitos normativos quanto à densidade.

Absorção de água e inchamento em espessura

Para a absorção de água nenhum dos tratamentos demonstrou-se superior ao T0, sendo este de menor valor numérico (Tabela 4). Os maiores valores, independente do adesivo utilizado, tanto em 2 como em 24 horas, são reportados em T2 e, observa-se, que a adição de capim-

Tabela 4. Valores médios de absorção de água nos tratamentos em função do adesivo

	Uréia	Tanino	Uréia	Tanino
	Absorção 2 horas (%)		Absorção 24 horas (%)	
T0	8,50 aA*	11,97 aA	43,82 aA*	56,62 aB
T1	33,49 bB	23,26 bA	112,72 bA	108,84 bA
T2	47,43 cA	48,29 cA	148,72 cA	137,86 cA

*Interação significativa entre os fatores. Em cada seção (2 ou 24 horas). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

annoni proporcionou maior absorção de água (Figura 1A). Os resultados são atribuídos à menor superfície de contato das partículas longas e finas do capim-annoni, como já evidenciado na razão de planicidade, bem como pela composição do material, que possui uma camada cerosa envolta, influenciando negativamente a adesão entre as mesmas e aumentando os espaços vazios dentro dos painéis, refletindo em baixa razão de compactação.

Para os painéis produzidos integralmente com madeira de pinus (T0), a utilização do adesivo foi decisiva apenas no período de 24 horas, onde aquelas coladas com tanino absorveram mais água. Para o T1, após 2 horas de imersão, a uréia apresentou resultados inferiores ao tanino. Já no T2, em todos os painéis confeccionados, o adesivo não mostrou influências significativas.

As normas comumente utilizadas para referenciar qualidade de painéis aglomerados, tais como ABNT NBR 14810 (2006a), CS 236-66 (1968), ANSI A 208.1 (1999) e EN 312 (2003) não estabelecem referência para a propriedade absorção de água. Porém, o valor médio obtido neste estudo, é inferior aos reportados por Varanda et al. (2013) entre 4,56 a 7,20%, para painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia (*Avena sativa*), aderidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Considerando os valores médios de inchamento em espessura (Tabela 5), evidencia-se tendência semelhante à anteriormente observada na propriedade de absorção de água, posto que, os tratamentos T1 e T2, ambos com adição do capim-

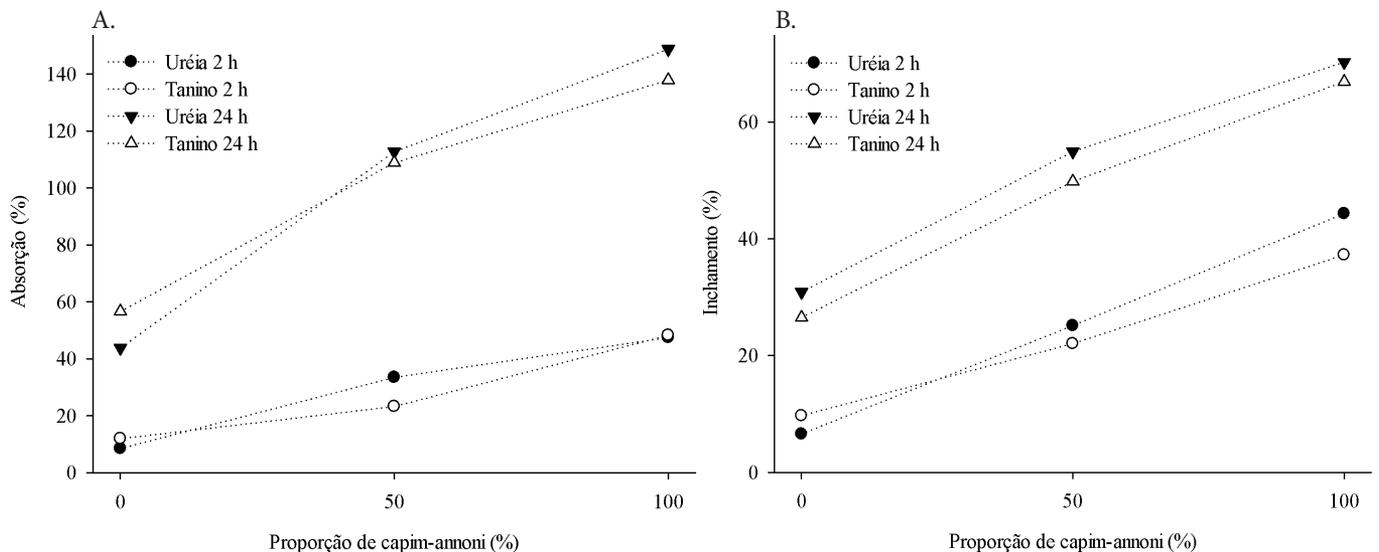
**Figura 1.** (A) absorção de água em 2 e 24 horas e (B) inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, nos diferentes tratamentos e adesivos utilizados

Tabela 5. Valores médios de inchamento em espessura nos tratamentos em função do adesivo

	Uréia	Tanino	Média geral	Uréia	Tanino	Média geral
	Inchamento 2 horas (%)			Inchamento 24 horas (%)		
T0	6,55 aA*	9,69 aB	8,12	30,86 ^{ns}	26,50	28,68 A
T1	25,11 bB	22,02 bA	23,56	54,92	49,79	52,35 B
T2	44,30 cB	37,22 cA	40,76	70,23	66,88	68,55 C
Média geral	25,32	22,98		52,00 b	47,73 a	

*Interação significativa entre os fatores. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F à 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo para interação entre fatores. Nesse caso, médias de cada fator são comparadas entre si pelo teste de Tukey para o fator percentual de capim-annoni e teste F para o fator tipo de adesivo.

annoni, apresentaram uma menor estabilidade dimensional, tanto para 2 como para 24 horas de imersão.

No estudo, há relação linear entre a propriedade física de inchamento e a utilização do capim-annoni, ao passo que, quando essa partícula é utilizada, o aumento da sua porcentagem na chapa ocasiona um aumento proporcional no inchamento (Figura 1B).

Para o tempo transcorrido de 2 horas de imersão em água, o adesivo tanino mostrou-se significativamente melhor em T1 e T2, com menores valores de expansão do painel, referenciando a boa interação dessa resina com as partículas de capim-annoni. Embora a literatura menciona que a molécula tânica possui caráter hidrofílico, o que torna os adesivos suscetíveis à umidade.

Apenas os painéis confeccionados integralmente com partículas de pinus atenderam aos requisitos da Norma Comercial Americana CS-236-66 (1968), para inchamento em espessura, após 24 horas, que estabelece valores máximos de 35%. Quanto aos demais, os ensaios de inchamento indicam que as partículas que constituem os painéis não se encontram aderidas o suficiente para resistirem à imersão em água.

Módulos de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) em flexão estática

O tratamento T0 colado com adesivo uréia-formaldeído apresentou valores médios de MOR estatisticamente superiores em relação ao T1 e T2. A colagem com tanino proporcionou uma melhora nos valores de MOR para T1, porém quando utilizado somente o capim-annoni, o valor de MOR decresceu (Tabela 6). Como já verificado no teste de inchamento, o tanino estabelece uma boa relação com as partículas de capim-annoni, se comparado a uréia, indicando os painéis de composição 50% madeira e capim (T1), colados com esse adesivo.

Para Carneiro (2009), a resistência obtida nos painéis produzidos com adesivos formulados com taninos se deve, principalmente, à baixa viscosidade dos mesmos, ocasionada pela hidrólise ácida, que também promove a quebra das ligações interflavonoides e a hidrólise das substâncias não tânicas, formando ligações cruzadas entre as partículas, refletindo diretamente no aumento da resistência mecânica.

Analisando os valores médios de módulo de elasticidade (Tabela 6), observou-se que os tratamentos T0 e T1 apresentaram os melhores efeitos, independente do adesivo utilizado na colagem. Resultados semelhantes são reportados com resíduos agrícolas, tais como bagaço-de-cana de açúcar (Widyorini et al., 2005), casca de café e partículas de bambu (Araújo, 2015), bagaço-de-cana e fibras da folha caulinar de bambu (Battistelle et al., 2009) e casca de amendoim (Guler et al. 2007).

O menor valor médio observado nos painéis de capim-annoni, em relação aos de madeira de pinus, pode ter ocorrido em função da própria constituição do material, que apresenta baixa resistência mecânica e força de ligação entre as partículas, decorrente da sua geometria. Os resultados também estão vinculados à baixa densidade desse material, o que resulta em um maior número de partículas para se obter uma densidade pré-estabelecida do painel e, conseqüentemente, na redução da quantidade de adesivo por partícula, proporcionando assim uma diminuição das propriedades mecânicas.

A fim de melhorar estes valores em estudos futuros é sugerido misturar o capim-annoni com outros resíduos agrícolas, tais como as fibras da casca de coco-verde e fibras de babaçu (*Orbignya* spp), que apresentam bons resultados de MOR e MOE, conforme mencionado por Fiorelli et al. (2012) e Lima et al. (2006), respectivamente.

Para as variáveis MOR e MOE, com acréscimo de até 50% de capim-annoni nos painéis, ainda é possível obter resultados satisfatórios nos parâmetros que indicam a resistência e a rigidez desses materiais. Contudo, nenhum dos tratamentos apresentou valores de comercialização requeridos pelo documento normativo ANSI A 208.1 (1999) de 12,8 MPa e 1943,8 MPa para MOR e MOE, respectivamente.

Resistência ao arrancamento de parafuso

No arrancamento de parafuso não houve significância para a interação entre fatores, mas houve significância para os 2 fatores (tratamento e adesivo) (Tabela 7).

As maiores resistências foram observadas nos painéis que tiveram adição de madeira na sua produção, respectivamente T0 e T1. Naquelas produzidas exclusivamente com capim-annoni, a força necessária para o arrancamento do

Tabela 6. Valores médios de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática em função do tratamento e adesivo

	Uréia	Tanino	Média geral	Uréia	Tanino	Média geral
	MOR (MPa)			MOE (MPa)		
T0	8,28 aA*	6,51 abA	7,39	1301,21 ^{ns}	1283,17	1292,22 A
T1	3,72 bB	8,18 aA	5,95	871,50	1367,88	119,72 AB
T2	4,43 bA	5,22 bA	4,82	698,38	941,88	820,13 B
Média geral	5,48	9,95		957,03 a	1197,64 a	

*Interação significativa entre os fatores. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste T à 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo para interação entre fatores. Nesse caso, médias de cada fator são comparadas entre si pelo teste de Tukey para o fator percentual de capim-annoni e teste T para o fator tipo de adesivo.

Tabela 7. Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso (N) nos diferentes tratamentos, em função do adesivo utilizado

	Uréia	Tanino	Média geral
T0	567,12 ^{ns}	464,15	515,63 A
T1	274,59	269,68	272,13 B
T2	214,08	162,20	194,27 C
Média geral	351,86 a	309,10 a	

^{ns} Não significativo para interação entre fatores. Médias de cada fator são comparadas entre si pelo teste de Tukey para o fator percentual de capim-annoni e teste T para o fator tipo de adesivo.

parafuso foi notavelmente inferior, independente do adesivo utilizado.

A resistência ao arrancamento de parafusos apresentou-se muito baixa, sendo que em todos os tratamentos, os valores obtidos foram inferiores ao estabelecido pela norma ABNT NBR 14810-2 (2006b), que requer para extração de parafuso valores superior a 1.020 N. Embora o tratamento T0 tenha apresentados os melhores resultados, ainda não atinge as especificações para comercialização de painéis aglomerados.

Em trabalhos similares com resíduos agroindústrias, Varanda et al. (2013) observaram que a força de arrancamento de parafuso nos painéis confeccionados com casca de aveia e *Eucalyptus grandis*, é diretamente proporcional ao aumento da composição percentual de madeira. Melo et al. (2009), também verificaram redução nessa propriedade ao passo que partículas de casca de arroz eram incorporadas nos painéis de madeira.

Para o arrancamento de parafuso não houve diferença significativa quanto a utilização dos adesivos uréia e tanino, corroborando Carneiro et al. (2004), ao estudarem painéis confeccionados exclusivamente com madeira de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*. Os autores mencionam que diversas formulações de resinas a base de tanino e uréia, puras ou misturadas em diferentes composições, não influenciaram a resistência ao arrancamento de parafuso.

Ligação interna

Na ligação interna não houve variação significativa para o tipo de adesivo utilizado, mas foi estatisticamente diferente para a porcentagem de incorporação de capim-annoni (Tabela 8). O T0 apresentou melhor resultado seguido de T1 e T2.

Nos painéis produzidos com a mesma quantidade de adesivo, a área superficial específica das partículas influencia diretamente na ligação interna. A correlação entre essas variáveis, segundo Azambuja (2015), refere-se à disponibilidade de adesivo do painel, no sentido que uma maior área superficial, como no capim-annoni, resulta em menor disponibilidade de resina e, conseqüentemente, uma ligação interna menor.

A superioridade dos resultados observados em T0 para a ligação interna, pode ser justificado pelo menor volume das suas partículas, corroborando Peixoto & Brito

Tabela 8. Valores médios de ligação interna (MPa) nos diferentes tratamentos, em função do adesivo utilizado

	Uréia	Tanino	Média geral
T0	0,19 ^{ns}	0,12	0,14 A
T1	0,07	0,04	0,06 B
T2	0,04	0,04	0,04 B
Média geral	0,10 a	0,06 a	

^{ns} Não significativo para interação entre fatores. Médias de cada fator são comparadas entre si pelo teste de Tukey para o fator percentual de capim-annoni e teste T para o fator tipo de adesivo.

(2000) e Azambuja (2015), que afirmam que partículas menores preenchem os espaços vazios e tornam os painéis homogêneos.

Os resultados encontrados são ligeiramente superiores a literatura de painéis produzidos com casca de coco e bagaço-de-cana (Panyakaew & Fotios, 2011), semelhante a casca de arroz (Melo et al., 2009) e inferiores se comparados aos painéis com casca de amendoim e mistura de casca de amendoim e coco (Cravo et al., 2015), com espécies florestais madeiras como *Schizolobium amazonicum* (Colli et al., 2010)

Os painéis não atenderam aos requisitos das normas de comercialização ABNT NBR 14810 (2006a) e EN 312 (2003), que estabelecem, respectivamente, valor mínimo de 0,40 e 0,35 MPa para ligação interna. Portanto, os três tratamentos não estão, sob este aspecto, aptos para aplicações em interiores em condição seca, incluindo móveis.

Os baixos valores encontrados para a ligação interna retratam uma grande deficiência nos painéis com capim-annoni. A variável, que indica o quão significativa foi à interação realizada entre as partículas e o adesivo utilizado, está diretamente relacionada com todas as demais propriedades físico-mecânicas avaliadas no presente estudo. Os resultados podem estar relacionados à camada cerosa que envolve as partículas do capim-annoni, a sua estrutura cilíndrica e oca, fatores que podem ter atuado como uma barreira durante a aplicação da resina.

Dureza Janka

Houve diferença estatística entre os tratamentos utilizados. À dureza Janka, mostrou-se prejudicada pela inclusão de capim-annoni, verificando-se diminuição em seus valores à medida que aumentou a quantidade de capim na composição dos painéis (Tabela 9). Tal fato pode ser atribuído à menor dureza desse material quando comparada à madeira.

Corroborando o estudo, Macedo (2008) verificou tendência de diminuição nos valores de dureza Janka ao adicionar partículas de borracha de pneu em painéis aglomerados de madeira de *Pinus taeda*. Contrariamente, a dureza não foi alterada em trabalhos de Carvalho (2015), adicionando resíduos de erva-mate em painéis de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e Colli et. al. (2010), com fibras de coco em painéis de *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke.

Os painéis colados com adesivo tanino mostraram-se significativamente melhores daqueles com uréia-formaldeído, apresentando valores superiores em todas as composições avaliadas (Tabela 9), tendência igualmente verificada em Carneiro (2009) e Carvalho (2014). Os autores reportam que, embora a uréia seja o adesivo comercialmente utilizado na indústria de painéis aglomerados, colagens com

Tabela 9. Valores médios de dureza Janka (MPa) nos diferentes tratamentos, em função do adesivo utilizado

	Uréia	Tanino	Média geral
T0	34,33 ^{ns}	37,32	35,83 A
T1	14,87	23,93	19,40 B
T2	10,57	10,76	10,89 C
Média geral	19,93 b	24,94 a	

^{ns} Não significativo para interação entre fatores. Nesse caso, médias de cada fator são comparadas entre si pelo teste de Tukey para o fator percentual de capim-annoni e teste T para o fator tipo de adesivo.

taninos têm-se mostrado muito eficientes, resultando em painéis com qualidade superior quando comparadas a uréia-formaldeído.

A norma de comercialização ANSI A 208.1 (1999) estabelece para dureza Janka valor mínimo de 22,7 MPa em painéis aglomerados. Nesse contexto, os valores médios obtidos nos tratamentos T0 (produzido exclusivamente com madeira) e T1(50% madeira e 50% capim-annoni) colado com adesivo tanino, são os únicos que atendem aos requerimentos exigidos pela norma.

Nos próximos estudos, para produção de painéis com características melhoradas, recomenda-se a adição de partículas de fibra de coco-verde e bagaço-de-cana de açúcar juntamente à madeira e capim-annoni.

Conclusões

As avaliações gerais dos resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis indicam a inviabilidade técnica de uso de capim-annoni para produção de aglomerados.

Os painéis de capim-annoni não devem ser recomendados como material estrutural para indústria moveleira e construção civil. Contudo, poderiam ser indicados para aplicações que não exijam elevada solicitação, como por exemplo, isolante térmico acústico, decoração, pequenos objetos e artesanato. No entanto, para uma recomendação mais criteriosa, ensaios específicos que avaliam esses parâmetros devem ser realizados.

Literatura Citada

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 14810 – 1 - Chapas de madeira aglomerada – Parte 1 – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2006a.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 14810 – 2 - Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2006b.
- Alfaya, H.; Suñé, L.N.P.; Siqueira, C.M.G. Efeito da amonização com uréia sobre os parâmetros de qualidade do feno do capim-annoni 2 (*Eragrostis plana* Nees). Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.2, p.842-851, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982002000400006>>.
- American National Standards Institute – ANSI A208.1. Particleboard. Gaithersburg: Composite Panel Association, 1999. 11p. <<http://www.flakeboard.com/specs/ANSI%20A208.1-1999%20PB.pdf>>. 12 Jan. 2016.
- American Society for Testing and Materials – ASTM D-1037. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Annual Book of ASTM Standards, v.4, n.9, p.283-287, 1998.
- Araújo, I.I. Caracterização físico-mecânica de painéis de partículas de bambu com adição de casca de café. São Paulo: Faculdade de Engenharia de Bauru, 2015. 115p. Dissertação Mestrado. <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/132527>>. 15 Jan. 2016.
- Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA. Números. 2015. <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. 20 Nov. 2015.
- Azambuja, R.R. Aproveitamento de resíduos de construção e demolição para produção de painéis aglomerados. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2015. 105p. Dissertação Mestrado. <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2015/d694_0914-M.pdf>. 21 Nov. 2015.
- Battistelle, R.A.G.; Marcilio, C.; Lahr, F.A.R. Emprego do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. Revista Minerva, v.5, n.3, p.297-305, 2009. <[http://www.fipai.org.br/Minerva%2005\(03\)%2009.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2005(03)%2009.pdf)>. 5 Jan. 2016.
- Carneiro, A.C.O., Vital, B.R., Frederico, P.G.U., Carvalho, A.M. I., Vidaurre, G.B. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. Revista Árvore, v.33, n.3, p.521-531, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000300014>>.
- Carneiro, A.C.O.; Vital, B.R.; Pimenta, A.S.; Della Lucia, R.M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de uréia-formaldeído e de taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. Revista Árvore, v.28, n.5, p.715-724, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000500011>>.
- Carvalho, A.G.; Andrade, B.G.; Cabral, C.P.T.; Vital, B.R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. Revista Árvore, v.39, n.1, p.209-214, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000100020>>.
- Carvalho, A.M.; Lelis, R.C.C.; Nascimento, A.M. Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. Ciência Florestal, v.24, n.2, p.479-489, 2014. <<http://dx.doi.org/10.5902/1980509814588>>.
- Colli, A.; Vital, B.R.; Carneiro, A.C.O.; Silva, J.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Lucia, R.M.D. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). Revista Árvore, v.34, n.2, p.333-338, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000200016>>.
- Commercial Standard. CS 236-66: mat formed wood particleboard. Geneva: CS, 1968.
- Cravo, J.C.M.; Sartori, D.L.; Fiorelli, J.; Balieiro, J.C.C.; Savastano JR, H. Painel aglomerado de resíduos agroindustriais. Ciência Florestal, v.25, n.3, p.721-730, 2015. <<http://dx.doi.org/10.5902/1980509819675>>.
- Cruz, C.D. Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa; Editora UFV, 2001. 648p.
- European standard. EN 312. Particleboards – specifications, 2003.
- Fiorelli, J.; Christoforo, A.L.; Lahr, F.A.R.; Nascimento, M.F.; Curtolo, D.D.; Sartori, D.L.; Belini, U.L. Painéis de partículas monocamadas fabricados com resíduo de madeira e fibra de coco verde. Scientia Forestalis, v.43, n.105, p.175-182, 2015. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap17.pdf>>. 18 Nov. 2015.

- Fiorelli, J.; Curtolo, D.D.; Barrero, N.G.; Savastano JR.H.; Pallonea, E.M.J.A.; Johnson, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An ecoefficient product. *Industrial Crops and Products*, v.40, p.69-75, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.033>>.
- Guler, C.; Copur, Y.; Tascioglu, C. The manufacture of particleboards using mixture of peanut (*Arachis hypoqaea*) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. *Bioresource Technology*, v.99, n.8, p.2893-2897, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.013>>
- Lima, A.M.; Vidaurre, G.B.; Lima, R.M.; Brito, E.O. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. *Revista Árvore*, v.30, n.4, p.645-650, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000400018>>
- Macedo, D.G. Compósitos de serragem de madeira e resíduos de recauchutagem de pneu. Brasília: Universidade de Brasília, 2008. 159p. Tese Doutorado. <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/5103>>. 18 Jan. 2016.
- Medeiros, R.B., Focht, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.13, n.1-2, p.105-114, 2007. <http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398794929_art_13.pdf>. 28 Nov. 2015.
- Melo, R.R.; Santini, E.J.; Haselein, C.R.; Stangerlin, D.M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. *Ciência Florestal*, v.19, n.4, p.449-460, 2009. <<http://dx.doi.org/10.5902/19805098899>>
- Naumann, R.B.; Vital, B.R.; Carneiro, A.C.O.; Della Lucia, R.M.; Silva, J.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Colli, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium parahyba* Herb. *Revista Árvore*, v.32, n.6, p.1143-1150, 2008. <<http://10.1590/S0100-67622008000600020>>
- Panyakaew, S.; Fotios, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*, v.43, n.7, p.1732-1739, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.015>>
- Peixoto, G.L.; Brito, E.O. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. *Revista Floresta e Ambiente*, v.7, n.1, p.60-67, 2000. <<http://www.floram.org/files/v7n%C3%BAnico/v7nunicoa6.pdf>>. 05 Dez. 2015.
- Reis, J.C.L.; Coelho, R.W. Controle do capimannoni-2 em campos naturais e pastagens. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 21p. (Circular Técnica, 22).
- Trianoski, R., Iwakiri, S., Matos, J.L.M., Prata, J.G. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. *Scientia Forestalis*, v.39, n.89, p.097-104, 2011. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr89/cap10.pdf>>. 20 Nov. 2015.
- Vale, A.T.; Mendes, R.M.; Amorim, M.R.S.; Dantas, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, v.17, n.2, p.267-273, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000200015>>.
- Varanda, L.D.; Nascimento, M.F.; Christoforo, A.L.; Silva, D.A.L.; Rocco Lahr, F.A. Oat Hulls as addition to high density panels production. *Materials Research*, v. 16, n.6, p.1355-1361, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392013005000131>>
- Widyorini, R.; Xu, J.; Umemura, K.; Kawai, S. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse: effects of raw material type, storage methods and manufacturing process. *Journal of Wood Science*, v. 51, n. 6, p. 648-654, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10086-005-0713-z>>.