

Recebido: 03-06-2017 Aceito: 15-08-2018 Publicado: 19-08-2019

Editorado por: Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori

Influência da adição de borracha de pneu nas propriedades de painéis MDP

Ezaquel Bednarczuk^{1*}, David Cardoso Dourado², Éverton Hillig¹, Everton Lorenzetti Tavares¹¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Irati, PR, Brasil.²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA, Marabá, PA, Brasil.

RESUMO No presente estudo avaliou-se a qualidade de painéis MDP produzidos com partículas de madeira de *Pinus* spp em mistura com borracha de pneu. Foram produzidos painéis monocamada com adição de 0, 6, 12, 18 e 24% de proporção de borracha de pneu, com massa específica nominal de 0,65 g.cm⁻³, utilizando 12% de resina ureia-formaldeído, 0,5% de parafina e 2% de catalisador sulfato de amônia. Utilizou-se pressão de 2,45 MPa, menor que as convencionalmente utilizadas em painéis MDP, para possibilitar a produção dos painéis com massa específica aparente próxima da nominal. A temperatura foi de 180°C durante 10 minutos de prensagem a quente. Foram avaliadas as propriedades: massa específica aparente, teor de umidade de equilíbrio, absorção de água e inchamento em espessura (2 e 24 horas), flexão estática (MOR e MOE) e ligação interna de acordo com a norma ASTM D 1037 (2006). Os valores foram comparados aos requisitos da norma ANSI A 208.1 (1993) e com os resultados de outras pesquisas. Somente os resultados para o ensaio de flexão estática não atenderam os requisitos determinados na norma ANSI, mas a adição de borracha de pneu nos painéis proporcionou aumento nos valores das propriedades avaliadas, tendo melhores resultados a adição de 12% de borracha de pneu.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, borracha, *Pinus* spp.

Influence of the tire rubber addition on the MDP panels properties

ABSTRACT The study aimed at evaluating the quality of MDP panels produced with wood particles of *Pinus* spp in a mixture with tire rubber. Monolayer panels with 0, 6, 12, 18 and 24% of tire rubber proportion, with 0.65 g.cm⁻³ nominal density were produced using 12% urea-formaldehyde resin, 0.5% paraffin and 2% ammonium sulfate catalyst. A pressure of 2,45 MPa was used, less than those conventionally used in MDP panels, to allow the panels production with near nominal apparent density. The temperature of 180° C was used for 10 min of hot pressing. The following physical-mechanical properties were evaluated as described in ASTM D 1037 (2006): apparent density, moisture content, water absorption, thickness swelling (2 and 24 hours), static bending (MOR and MOE) and internal bond. The values were compared to the requirements of ANSI A 208.1 (1993) and the results of other researches. Only the results for static bending test did not meet the requirements determined in the ANSI standard, but the addition of tire rubber in the panels provided an increase in the evaluated properties values, with better results adding 12% of tire rubber.

Keywords: Solid waste, rubber, *Pinus* spp.

Introdução

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente denominados *Medium Density Fiberboard* - MDP, são produzidos com partículas de madeira e outros materiais lignocelulósicos, com a incorporação de um adesivo sintético (fenol-formaldeído, ureia-formaldeído, melamina-

formaldeído) e, consolidados através da aplicação de calor e pressão em uma prensa (IWAKIRI, 2005). Conforme a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2016), o Brasil teve uma produção de 2,7 milhões de m³ de MDP no ano de 2015, tendo um decréscimo de 14,9 % em relação a 2014. A diminuição do poder de consumo das famílias levou à

redução na compra de diversos produtos, incluindo móveis, os principais segmentos consumidores de painéis de madeira no Brasil.

Os resíduos de pneu preocupam órgãos ambientais e governamentais, devido ao aumento desenfreado de seu consumo, proporcionado pela elevação da demanda e curta vida útil, que tem colaborado para o seu descarte incorreto na natureza (NÓBREGA, 2001). Segundo Brasil (2016), no ano de 2015 foi colocado no mercado nacional de reposição cerca de 59.180.693 unidades, equivalente a 760.685,42 toneladas. Atualmente, a maior parte dos pneus é produzida com 10% de borracha natural (látex), 30% de petróleo (borracha sintética) e 60 % de aço e tecidos (tipo lona) que fortalecem ainda mais a estrutura (NÓBREGA, 2001).

Brasil (2009) define pneu novo como aquele de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso, não foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações; pneu usado é aquele que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste, englobando os pneus reformados, inservíveis; e pneu reformado se trata do que foi submetido a processo de reutilização da carcaça com o fim específico de aumentar sua vida útil. O pneu inservível é aquele que após o uso apresenta danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma, obrigando-se a outra destinação. Neste caso, seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra técnica admitida pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais.

Devido esses fatores, algumas pesquisas foram realizadas com intuito de se produzir um produto com borracha de pneus. Jun et al (2008) produziram painéis aglomerados com 60 % de partícula de madeira da espécie *Larix gmelinii* (nativa da China e Coreia) e 40% de borracha de pneu, utilizando as resinas difenilmetano diisocianato (pMDI) e ureia-

formaldeído (UF). Os painéis produzidos apresentaram boas propriedades mecânicas, porém a massa específica entre 0,80 e 1,20 g.cm⁻³ torna o painel pesado para o mercado consumidor. Conforme Silveira et al. (2016), a borracha de pneu triturada apresenta massa específica de 1,19 g.cm⁻³.

Xu; Li (2012), utilizando partículas de madeira do gênero *Populus* spp. com proporção de borracha entre 0 e 40% e resina pMDI variando entre 2 e 6%, obtiveram painéis MDP de massa específica aparente variando entre 0,60 a 1,00 g.cm⁻³. Verificaram que a adição da borracha de pneu reduziu as propriedades mecânicas avaliadas e melhorou os resultados de inchamento em espessura.

Bertolini et al. (2014) produziram painéis utilizando resíduos de madeira de *Pinus* spp. tratada com conservante à base de cromo, cobre e boro (CCB) e resíduos de pneu nas proporções de 0, 50 e 75%, colados com resina poliuretana a base de óleo de mamona. Concluíram que a adição da borracha de pneu resultou no aumento da massa específica aparente, da tração perpendicular à superfície do painel e do MOR em flexão estática.

Bertolini et al. (2016) produziram painéis utilizando resíduos de madeira de *Pinus* spp. tratada com conservante CCB e resíduos de pneu nas proporções de 0 e 40%, colados com resina poliuretana a base de óleo de mamona. Descreveram um aumento significativo nos resultados de massa específica aparente com o aumento da proporção de borracha, mas os resultados de MOR e MOE em flexão estática não apresentaram variação.

Conforme descrito pelos autores citados, é possível a utilização das raspas de pneu em painéis MDP, porém foi observado redução das suas propriedades mecânicas. Não está claro se esta redução é devida à proporção de borracha ser de até 40 ou até 75%, ou se devida ao tipo de adesivo e às espécies de madeira utilizadas.

Considerando que a maior parte dos painéis MDP produzidos no Brasil utilizam madeira de pinus e adesivo uréia-formaldeído, este estudo objetivou avaliar as propriedades deste tipo de painel produzido com menores proporções de borracha e sob menor pressão de prensagem, de modo a verificar se nessas condições se poderia obter uma melhor relação entre resistência e peso do painel.

Material e Métodos

Foram utilizadas partículas de madeira de *Pinus* spp. obtidas em uma empresa produtora de painéis MDP do Paraná. As partículas, utilizadas na camada interna do MDP no processo industrial, foram dispostas em caixas de plástico e levadas à estufa com ventilação forçada e temperatura 60°C por 24 horas com intuito de atingir teor de umidade próximo a 3%.

A borracha de pneu utilizada neste estudo foi cedida por outra empresa situada no município de Irati - PR, sendo um resíduo proveniente da raspagem dos pneus para a recapagem. Com intuito de padronizar o tamanho do material, as raspas de pneu foram classificadas em uma sequência de peneiras com granulometrias de 3,35, 2,36 e 0,60 mm, optando-se pelo material retido na peneira 2,36 mm por ser a mesma granulometria das partículas de madeira.

Na Figura 1, são apresentados os materiais utilizados na confecção dos painéis MDP.



Figura 1. Materiais utilizados na confecção dos painéis MDP: A) Partículas de madeira de *Pinus* spp.; B) Raspas de pneu coletadas; C) Raspas de pneu retidas na peneira de 2,36 mm.

Figure 1. Materials used in the manufacture of MDP panels: A) Wood particles of *Pinus* spp.; B) Tire rubber collected; C) Tire rubber retained in the 2.36 mm sieve.

O experimento foi elaborado visando avaliar a influência da adição de diferentes proporções de borracha de pneu sobre as propriedades dos painéis MDP, no delineamento inteiramente casualizado (DIC) constituído em cinco tratamentos com três repetições, totalizando 15 painéis, conforme demonstrado na Tabela 1.

A massa específica nominal dos painéis foi estabelecida em 0,65 g.cm⁻³ e utilizou-se resina de uréia-formaldeído, na proporção de 12%, e parafina na proporção de 0,5%, de sólidos sobre peso seco de partículas. Como catalisador, foi utilizado sulfato de amônia ((NH₄)₂SO₄), na proporção de 2% de sólidos sobre o peso seco de adesivo. No processo de encolagem, as partículas de madeira e raspas de pneu foram pesadas e separadas, conforme o delineamento experimental e depositadas em tambor misturador em suas respectivas proporções. O adesivo de ureia-formaldeído, mais a parafina e o catalisador, foram aspergidos no tambor e misturados por 10 min. Posteriormente, as partículas foram distribuídas manualmente em uma caixa formadora de 50 x 50 cm, numa quantidade estabelecida para um painel de 13 mm de espessura.

Tabela 1. Tratamentos testados no experimento.

Table 1. Treatments tested in the experiment.

Tratamento	Composição no painel (%) [*]		Repetições
	Partículas de madeira	Borracha de pneu	
1	100	0	3
2	94	6	3
3	88	12	3
4	82	18	3
5	76	24	3
Total de painéis			15

Notas: ^{*}: Percentual com base na massa seca das partículas de madeira.

Em seguida, o colchão de partículas passou pela pré-prensagem para fazer sua compactação e, por fim, este foi

conduzido à prensa de pratos com aquecimento elétrico, a uma temperatura de 180 °C e pressão de 2,45 MPa por um tempo de 10 minutos.

Neste experimento, não foram utilizados separadores estáticos para controlar a espessura do painel e foi usada temperatura de 180 °C, superior à normalmente usada em experimentos com painéis aglomerados colados com resina ureia-formaldeído. Maior temperatura foi utilizada de forma a garantir a cura do adesivo no centro de todos os painéis, tendo em vista o caráter isolante da borracha. A pressão de 2,45 MPa foi utilizada pois foi a pressão que proporcionou obter os painéis produzidos com 12% de raspas de pneus (painel correspondente à proporção intermediária de borracha de pneu) com a massa específica aparente semelhante à nominal.

Após a manufatura, os painéis foram conduzidos à câmara de climatização com condições ambientais controladas ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$), por um período de 20 dias, até sua estabilização, para posterior análise das propriedades físico-mecânicas (massa específica aparente, teor de umidade de equilíbrio, absorção de água para 2 e 24 horas, inchamento em espessura para 2 e 24 horas, MOR e MOE em flexão estática e ligação interna) conforme a norma American Society for Testing and Materials - ASTM D 1037 (2006).

Os valores médios verificados para cada tipo de painel foram comparados com os requisitos da norma American National Standards Institute - ANSI A 208.1 (1993) e com outros trabalhos de pesquisa.

Para comparação entre os diferentes tipos de painéis, satisfeitas as prerrogativas de homogeneidade de variâncias e distribuição normal, foi aplicada ANOVA, com 5% de probabilidade de erro. Havendo diferença significativa, foi realizado teste de Tukey para comparação das médias. Foi também realizada análise de correlação de Pearson.

Resultados e Discussão

Propriedades físicas dos painéis

Os valores médios de massa específica aparente variaram de 0,64 a 0,75 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, observando-se aumento para as proporções de 18% e de 24% de borracha de pneu na produção dos painéis (Tabela 2).

Conforme a norma ANSI A 208.1 (1993), painéis com valores de massa específica aparente de 0,64 a 0,80 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ são considerados de média densidade e a massa específica final dos painéis não pode apresentar diferença maior que 10% da massa específica nominal determinada durante a manufatura. As variações neste estudo, que chegaram a 15,38% nos painéis com mais de 18% de borracha de pneu, são devidas à menor espessura obtidas nesses painéis. Isso se deve ao fato que, além das partículas de borracha de pneu ser mais pesadas, isto é, ocupam um menor volume para o mesmo peso, são partículas mais compressíveis que as de *Pinus*, pois sofrem maior efeito da temperatura. Igualmente ao verificado no presente estudo, Bertolini et al. (2016), verificaram que a diferença entre a massa específica das partículas de madeira de *Pinus* sp. tratado com CCB (0,70 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) e das raspas de borracha de pneu (1,2 a 1,4 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) proporcionou aumento na massa específica aparente nos painéis com adição de borracha.

Devido ao fato da borracha ser um material hidrofóbico, houve influência da adição da borracha de pneu sobre os resultados de teor de umidade de equilíbrio dos painéis, sendo que a adição de maiores proporções proporcionou redução da umidade dos painéis. Da mesma maneira, observa-se que, para os dois tempos de imersão dos corpos de prova em água (2 e 24 horas), a adição de borracha de pneu reduziu a absorção de água dos painéis. Esse fato foi atribuído à maior massa específica dos painéis com maior proporção de borracha de pneu, bem como a sua característica hidrofóbica. Mello; Del Menezzi (2010) afirmam que maior absorção de

água em painéis MDP de menor massa específica aparente ocorre por existir um maior volume de espaços vazios que possam ser ocupados por água.

Para inchamento em espessura observou-se uma variação diferente do ensaio de 2 horas para o de 24 horas de imersão em água. Para 2 horas de imersão, houve aumento nos valores médios quando adicionado 6% de borracha de pneu em relação aos painéis 100% *Pinus*, com uma tendência de serem equivalentes para as proporções de 12 e 18% e de diminuir o inchamento na proporção de 24%. Para os resultados de imersão 24h, houve também um aumento do inchamento

para os painéis com 6% de borracha de pneu, que tenderam a serem equivalentes nas demais proporções. Esse fato está associado à absorção de água que teve a tendência de diminuir com o aumento de 12% para 24% de proporção de borracha, mas em diferentes proporções em cada tempo de ensaio. Para duas horas de imersão em água houve redução de 32% na absorção de água, enquanto para 24 horas foi de 23%. Nesse caso, em 24 horas, a diminuição da absorção de água não foi suficiente para a consequente redução do inchamento.

Tabela 2. Propriedades físicas dos painéis MDP confeccionados com diferentes proporções de madeira e borracha de pneu.
Table 2. Physical properties of MDP panels made with different proportions of wood and tire rubber.

Tratamento (PM/ BP)%	ME (g.cm ⁻³)	Esp. (mm)	TUE (%)	AA (%)		I Esp. (%)	
				2 H.	24 H.	2 H.	24 H.
100/0	0,64 b	13,76 a	10,45 a	58,29 a	74,22 a	15,96 bc	21,30 b
94/6	0,64 b	13,25 ab	9,92 b	60,11 a	74,43 a	21,56 a	26,89 a
88/12	0,65 b	12,71 bc	9,45 c	50,83 ab	66,57 ab	16,38 b	21,45 b
82/18	0,73 a	11,99 c	8,90 d	41,44 bc	57,32 bc	13,84 bc	18,84 b
76/24	0,75 a	11,20 d	8,32 e	34,42 c	51,07 c	12,17 c	18,03 b
F calculado	11,06 *	31,01 *	154,99 *	12,64 *	14,14 *	12,32 *	10,77 *
C.V (%)	7,19	3,08	2,13	15,43	10,43	15,50	12,14

Notas: PM: Partículas de madeira de *Pinus* spp; BP: Borracha de pneu; ME: Massa específica aparente; Esp.: Espessura; TUE: Teor de umidade de equilíbrio; AA: Absorção de água; I Esp.: Inchamento em espessura; H: horas; C.V: Coeficiente de variação; As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; *: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

ANSI 208.1 (1993) considera aceitável percentual de até 35% de inchamento em espessura dos painéis após 24 horas de imersão em água, sendo assim, todos os painéis atenderam o requisito. Diferentemente do retratado no presente estudo, Xu; Li (2012) observaram que os valores médios de inchamento em espessura dos painéis de partículas com pó de borracha foram reduzidos em 7,3% na proporção de 10% de borracha a 61% na proporção de 40% de borracha, em relação à média das amostras de controle, relacionando o fato à característica hidrofóbica da borracha. No entanto, os menores valores de inchamento observados naquele estudo foram devidos ao tipo de adesivo usado (pMDI) que é mais

resistente à água que a ureia-formaldeído, tornando os painéis ainda mais hidrofóbicos. Santos et al (2011) observaram que a presença de partículas de polietileno tereftalato (PET) em painéis aglomerados de pinus diminuiu o inchamento após 24 horas de imersão em água, visto que o PET possui caráter hidrofóbico.

Propriedades mecânicas dos painéis

A adição de até 24% de borracha de pneu não interferiu estatisticamente nos resultados de MOE e MOR, variando de 982,39 a 1018,90 MPa e 4,18 a 5,18 MPa, respectivamente (Tabela 3). Os resultados obtidos neste estudo estão em desconformidade com a norma de comercialização da ANSI

A 208.1 (1993), pois os painéis de partículas de média massa específica devem apresentar valores mínimos de 1725 e 11 MPa.

Os baixos valores médios de MOR e de MOE verificados neste estudo foram atribuídos à menor pressão utilizada durante a prensagem. Embora essa pressão tenha sido suficiente para alcançar a massa específica desejada do painel, não foi suficiente para produzir uma compactação adequada a um bom contato entre as partículas, o que não proporcionou consolidar o painel de forma a atender o mínimo valor de resistência e rigidez. No caso dos painéis com maior proporção de borracha de pneu (18 e 24%) esse fato ainda se agrava, pois, sua massa específica foi aumentada e sua espessura diminuída. Por outro lado, um aumento da

pressão de prensagem deve causar um aumento da massa específica do painel, tornando-o ainda mais pesado. Dessa forma, os painéis produzidos podem ser utilizados para finalidades que não exijam resistência mecânica, como no caso de painéis de revestimento. O melhor resultado de resistência à tração perpendicular (ligação interna), quando comparados aos painéis testemunhas, foi obtido com o painel produzido com 18% de borracha de pneu, no entanto, não foram diferentes estatisticamente dos painéis produzidos com as demais proporções de borracha. A tendência de melhora da ligação interna com o aumento da proporção de borracha foi atribuída, em parte, a maior massa específica desses painéis.

Tabela 3. Propriedades mecânicas na flexão estática e tração perpendicular à superfície de painéis MDP confeccionados com partículas de madeira e borracha de pneu.

Table 3. Mechanical properties at static bending and perpendicular tensile to the surface of MDP panels made with wood particles and tire rubber.

Tratamento (PM / BP) %	MOE (MPa)	MOR (MPa)	RT (MPa)
100/0	982,39 a	5,11 a	0,42 b
94/6	938,52 a	4,45 a	0,43 ab
88/12	818,72 a	4,18 a	0,53 ab
82/18	973,22 a	5,21 a	0,66 a
76/24	1018,90 a	5,81 a	0,58 ab
F calculado	1,08 ^{ns}	2,29 ^{ns}	3,95 [*]
C.V (%)	27,08	30,90	26,54

Notas: PM: Partículas de madeira de *Pinus* spp; BP: Borracha de pneu; MOE: Módulo de elasticidade; MOR: Módulo de ruptura; RT: Resistência à tração perpendicular; C.V: Coeficiente de variação; As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; *: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Bertolini et al., (2014) também verificaram que a adição de borracha de pneu em painéis aglomerados aumentou a sua massa específica e melhorou a ligação interna. Por outro lado, Xu e Li (2012) verificaram diminuição da ligação interna com adição de borracha nos painéis. Neste estudo, a tendência de aumento da ligação interna até 18% e tendência de diminuição para 24% demonstra que, até naquela proporção

a borracha atuou como reforço, mas que na maior proporção passou a interferir na colagem.

Os resultados para tração perpendicular variaram de 0,42 a 0,66 MPa, estando em conformidade com a norma ANSI A 208.1 (1993), que estipula valor mínimo de 0,42 MPa para chapas de partículas de média massa específica aparente.

Análise da correlação entre as variáveis

Na Tabela 4 é apresentada a correlação de Pearson entre as propriedades físico-mecânicas dos painéis e entre essas e a proporção de borracha de pneu.

A proporção de borracha de pneu apresentou correlação significativa com quase todas as propriedades avaliadas, exceto com o MOE e o MOR, confirmando os resultados obtidos com a análise de variância. A maior influência da proporção de borracha de pneu foi sobre a espessura e o teor de umidade de equilíbrio dos painéis, seguido da absorção d'água, da massa específica, do inchamento em espessura e da resistência à tração perpendicular, respectivamente.

Da mesma forma, a massa específica aparente dos painéis só não apresentou correlação significativa com o MOR e o MOE, com destaque para sua correlação com a umidade e com a absorção d'água dos painéis. O teor de umidade de equilíbrio, por sua vez apresentou correlação significativa com as demais propriedades físicas.

Na correlação entre as propriedades mecânicas, deve-se dar destaque à alta correlação entre o MOE e o MOR dos painéis, com coeficiente de correlação igual a 0,96. Em geral, o coeficiente de correlação encontrado entre essas duas propriedades varia entre 0,80 e 0,95 (PROTÁSIO et al., 2012; MODES et al., 2012; MORAIS et al., 2015).

De modo geral a análise de correlação mostra que as propriedades de resistência à tração (ligação interna) e massa específica explicam a maior parte da variação das outras propriedades físicas dos painéis (absorção de água e inchamento em espessura). As tendências de aumento da massa específica e de melhor ligação interna obtidas com aumento da proporção de borracha proporcionaram melhor estabilidade dimensional ao painel. Por outro lado, o fato de não haver correlação entre a RT com o MOR e o MOE, confirmam o que já foi discutido em relação à pressão utilizada e seus efeitos na compactação das partículas.

Tabela 4. Correlação de Pearson entre as propriedades físico-mecânicas dos painéis e entre essas e a proporção de borracha de pneu.

Table 4. Pearson's correlation between the panels physical-mechanical properties and between these and the tire rubber ratio.

	Prop.	ME	E	TUE	A 2h	A 24h	I 2h	I 24h	MOE	MOR	RT
Prop.	1										
ME	0,75*	1									
E	-0,94*	-0,79*	1								
TUE	-0,98*	-0,83*	0,96*	1							
A 2h	-0,79*	-0,93*	0,86*	0,87*	1						
A 24h	-0,82*	-0,93*	0,90*	0,89*	0,99*	1					
I 2h	-0,57*	-0,74*	0,63*	0,64*	0,81*	0,82*	1				
I 24h	-0,55*	-0,68*	0,59*	0,60*	0,75*	0,76*	0,97*	1			
MOE	0,07	0,30	-0,06	-0,15	-0,30	-0,26	-0,32	-0,36	1		
MOR	0,25	0,41	-0,22	-0,31	-0,44	-0,41	-0,49	-0,54*	0,96*	1	
RT	0,52*	0,61*	-0,50	-0,55*	-0,52*	-0,55*	-0,57*	-0,59*	0,05	0,13	1

Notas: Prop.: proporção de borracha no painel; ME: Massa específica aparente; E: Espessura; TUE: Teor de umidade de equilíbrio; A 2h: Absorção de água após duas horas de imersão; A 24h: Absorção de água após 24 horas de imersão; I 2h: Inchamento após duas horas de imersão; I 24h: Inchamento após duas horas de imersão; MOE: Modulo de elasticidade; MOR: modulo de ruptura; RT: Resistência à tração perpendicular; *: significativo a 5% de probabilidade de erro.

Conclusões

Os painéis atenderam os requisitos internacionais para painéis aglomerados, exceto no módulo de ruptura e no módulo de elasticidade em flexão estática. A pressão utilizada foi insuficiente para a consolidação dos painéis de forma a alcançarem os valores mínimos de resistência e rigidez; e os painéis com 18% ou mais de proporção de borracha de pneu tiveram sua espessura reduzida em relação à nominal. Por outro lado, o caráter hidrofóbico da borracha de pneu proporcionou redução da absorção de água e do inchamento em espessura. Dessa forma, os painéis assim produzidos e com até 12% de proporção de borracha de pneu têm utilização onde não é exigida resistência mecânica, mas onde é necessária maior estabilidade dimensional.

Referências

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A 208.1**: Particleboards. New York, 1993.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 1037-06**: Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, PA. 2006.
- BERTOLINI, M. S.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Thermal insulation particleboards made with wastes from wood and tire rubber. **Key Engineering Materials**. v. 668, p 263-269, 2016.
- BERTOLINI, M. S.; CHRISTOFORO, A. L.; NETO, C. C.; LAHR, F. A. R. Particulate composites with wastes from treated wood and tire rubber. **Advanced Materials Research**. v. 1025-1026, p 288-291, 2014.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução do CONAMA nº 416/2009**. Brasília, DF, 2009. 4 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Relatório de pneumáticos - 2016**. Brasília, DF, 2016. 78 p.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2016**. Brasília-DF, 2016, 100 p.
- IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.
- JUN, Z; WANG, X; CHANG, J; ZHENG, K. Optimization of processing variables in wood-rubber composite board manufacturing technology. **Bioresource Technol.** v. 99, p. 2384-2391, 2008.
- de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v.18, n 1, p. 59 - 73, 2010.
- MODES, K. S.; VIVIAN, M. A.; LILGE, D. S. MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Utilização da madeira de canafistula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) na confecção de chapas de madeira aglomeradas. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 147-159, 2012.
- MORAIS, W. W. C.; HASELEIN, C. R.; SUSIN, F.; VIVIAN, M. A.; MORAIS, J. B. F. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldooides* e *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1015-1026, 2015.
- NÓBREGA, L. M; AQUINO, M. D. **Diversas alternativas para o destino final dos pneus da região de Fortaleza/CE**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia, 29. Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: COBENGE, 2001. p 45-49.
- PROTÁSIO, T. P; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES, B. M. R. Correlações entre as Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis Aglomerados de Diferentes Espécies de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, 19(2), p.123-132, 2012.
- SANTOS, R. C; MENDES, L. M; CAMEIRO, A. C. O; MORI, F. A; CASTRO, R. V. O; MENDES, R. F. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 149-158, 2011.
- SILVEIRA, P. M; ALBUQUERQUE, M. C. F; CASSOLA, S; BORTOLUCCI, A. A; PAULLI, L; VILLA, F. M. D. Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. **Revista Matéria**, v.21, n.2, p. 416-428, 2016.
- XU, M; LI, J. Effect of adding rubber powder to poplar particles on composite properties. **Bioresource Technology**. v. 118, p. 56-60, 2012.