

# CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA PRODUZIDAS COM PARTÍCULAS DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, POLIESTIRENO (PS) E POLIETILENO TEREFALATO (PET)

Antônio da Silva Maciel<sup>1</sup>, Benedito Rocha Vital<sup>2</sup>, Ricardo Marius Della Lúcia<sup>2</sup>, Alexandre Santos Pimenta<sup>2</sup>

(Recebido: 10 de agosto de 2002; aceito: 19 de maio de 2004)

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo determinar as propriedades de painéis fabricados com partículas de madeira, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). As chapas foram fabricadas com 0%, 25% ou 50% de partículas de poliestireno e 100%, 75% ou 50% de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. Foram fabricadas, ainda, chapas contendo duas proporções de PET/PS (5/20% e 10/40%) combinados com 75% ou 50% de partículas de madeira. Como agente de ligação foram empregados três teores de adesivos (0%, 4% ou 6%) à base de uréia-formaldeído ou fenol-formaldeído e três teores de solução de poliestireno em tolueno (0%, 4% e 6%), todos calculados em relação à massa seca total das chapas. Foram produzidas chapas de aproximadamente 400 x 400 x 10mm, em camada única, com densidade aproximada de 0,60 g/cm<sup>3</sup>. Determinou-se a resistência das chapas à tração perpendicular à superfície, à flexão estática módulos de ruptura MOR e de elasticidade MOE, ao arrancamento de parafusos, bem como a absorção de água e o inchamento em espessura, após 24 horas de imersão. Todas as propriedades mecânicas das chapas foram superiores às exigidas pela norma ANSI/A 208.1-1993 ANSI, 1993. Contudo, todas as chapas absorveram água em valores superiores àqueles normalmente observados em chapas comerciais. Apesar disso, o inchamento em espessura foi compatível com o das chapas de partículas de madeira existentes no mercado. As chapas nas quais se aplicou a solução de poliestireno foram de modo geral, as que apresentaram os melhores valores para todas as propriedades.

Palavras-chave: chapas de partículas, poliestireno, polietileno tereftalato, solução de poliestireno em tolueno.

## PARTICLEBOARDS PRODUCED WITH *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, POLYSTYRENE AND POLYETHYLENE TEREPHTHALATE PARTICLES

**ABSTRACT:** This research investigated the properties of wood particleboards, containing particles of polystyrene (PS) and polyethylene terephthalate (PET). Particleboards were produced with 0%, 25% or 50% of polystyrene and 100%, 75% or 50% of *Eucalyptus grandis* particles. Additional boards were produced with two amounts of PET/PS (5/20% or 10/40%) and 75% or 50% wood particles. As binding agents three amounts (0%, 4% or 6%) of urea-formaldehyde or phenol-formaldehyde adhesive and three amounts of polystyrene in toluene solution (0%, 4% or 6%) were used. One-layer boards, measuring approximately 400,0 x 400,0 x 10,0 mm with density approximately equal to 0,60 g/cm<sup>3</sup>, were produced. Internal bond, modulus of rupture and elasticity, screw withdrawal, as well water absorption and thickness swelling, after 24 hours of immersion were determined. All mechanical boards' properties were superior to the established by ANSI/A 208.1-1993 standards. All wood/plastic

<sup>1</sup> Doutorando em Ciência Florestal, Dep. de Engenharia Florestal da - UFV, CEP 36571-000 Viçosa-MG, antoniomaciel@yahoo.com.;

<sup>2</sup> Professor do Dep. de Engenharia Florestal da UFV, CEP 36571-000, Viçosa-MG, bvital@ufv.br, rd Lucia@ufv.br, apimenta@ufv.br.

*particleboards absorbed more water than those observed in commercial boards. However the observed thickness swelling was quite similar to the values of commercial wood particleboards. Boards in which the solution of polystyrene was applied were, in general, presented the best values for all properties.*

*Key- words: Particleboards, polystyrene, polyethylene therephthalate, solution of polystyrene in toluene.*

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de chapas de partículas de madeira aglomerada teve sua origem na Alemanha, desenvolvendo-se após a Segunda Guerra Mundial. Na década de 1960, iniciou-se a expansão maciça desta indústria nos EUA e no resto do mundo. No Brasil, as chapas de partículas começaram a ser produzidas em 1966, pela indústria Placas do Paraná.

Segundo a ABIPA (2002), no país existem, atualmente, sete grandes empresas que produziram em 2001, mais de 1,8 milhão de metros cúbicos de chapas, correspondendo a cerca de 2% da produção mundial. A produção brasileira é, em sua quase totalidade, voltada para atender à demanda da indústria moveleira.

As chapas de madeira aglomerada são fabricadas com pequenas partículas de madeira aglutinadas com adesivos sintéticos, por meio de prensagem, sob alta temperatura. Em princípio, qualquer material lignocelulósico pode ser empregado como matéria-prima para a fabricação de chapas de partículas; a madeira, no entanto, é a mais utilizada devido à melhor adequação ao processo industrial. No Brasil, algumas empresas utilizam apenas madeira de pinus na sua linha de produção, outras empregam apenas eucalipto e algumas combinam pinus e eucalipto, em proporções variáveis. No mundo, 50% das indústrias de chapas de partículas empregam madeira de coníferas como matéria-prima principal (BNDES, 2001).

Embora a indústria de chapas de madeira aglomerada já esteja consolidada em todo o mundo, novos materiais e técnicas de produção têm sido desenvolvidos para a geração de novos produtos. Um dos materiais com grande potencialidade para ser associado à madeira são as resinas termoplásticas. No Brasil, em 1999, foram produzidos cerca de 3,5 milhões de toneladas de resinas termoplásticas e, desse total, mais de 65% foram destinados às indústrias de embalagens plásticas (Anuário, 2000). Grande parte dessas embalagens é descartada como resíduo pós-consumo, tornando-se um problema ambiental. Esse material, se recuperado, poderia ser parcialmente utilizado como matéria-prima para a produção de compósitos termoplásticos. Tais produtos são obtidos a partir de uma matriz contínua ou descontínua de resina termoplástica, reforçada com partículas de madeira, produzidos, principalmente, pelos processos de extrusão e injeção.

A tecnologia de produção dos compósitos termoplásticos utiliza, atualmente, o polietileno de alta e baixa densidade e o polipropileno em mistura com farinha e fibras de madeira como principal matéria-prima, em função de sua maior disponibilidade e adequação aos sistemas de produção (English et al., 1996). Durante a fusão destes polímeros recicláveis, no entanto, o calor afeta negativamente a maioria de suas propriedades. Na tentativa de manter inalteradas suas estruturas, novos tipos de plásticos têm sido avaliados, em suas formas fragmentadas, como elementos constituintes para a elaboração de

materiais à base de plástico/madeira. Dentre eles, o poliestireno (PS) e o polietileno tereftalato (PET) têm-se mostrado como potencialmente qualificados na produção de chapas de compósitos por suas características de dureza e disponibilidade.

Diversos trabalhos publicados (Bregner et al., 1988; Han et al., 1989; Yan et al., 1990; Simonsen, 1998; Coutinho et al., 1998) tiveram como objetivo estabelecer as características de produtos fabricados com uma matriz de matéria plástica reforçada com fibras de madeira, produzidos por extrusão ou injeção. Apenas em alguns trabalhos, como aqueles publicados por Youngquist (1992), Wanage et al. (1998), Ellis et al. (1993), e Song & Hwang (1997), estudaram o efeito da incorporação de plásticos na produção de painéis de madeira obtidos por termocompressão. Em todos os casos, produziram-se chapas com boas propriedades.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas em chapas produzidas pela mistura de partículas de madeira e de plástico (poliestireno e polietileno tereftalato), empregando adesivos de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído e uma solução de poliestireno em tolueno como agentes de ligação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Preparação das partículas

A madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) foi obtida a partir de trinta árvores, com 8 anos de idade, provenientes de um povoamento existente no campus da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais. As resinas termoplásticas de poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET) foram obtidas num depósito de materiais recicláveis.

Depois de abatidas, as árvores foram transformadas em toretes de 80 cm de comprimento, que foram posteriormente transformados em tábuas com 2,5 cm de espessura. As tábuas foram cortadas em pequenos blocos. Após imersão em água por cinco dias, os blocos de madeira foram transformados em flocos com espessura média de 0,55 mm por meio de um moinho de facas. Os flocos foram secos ao ar durante alguns dias e depois reduzidos a partículas em moinho de martelos, com peneira de malha de 3 x 17 mm. As partículas foram selecionadas em peneira de malha com abertura de 1 x 1 mm para remoção de finos, e condicionadas em estufa, a  $53^{\circ}\text{C}\pm 2$ , até a umidade da madeira atingir  $3\%\pm 0,5$ .

Os plásticos de poliestireno e de PET, depois de lavados e isentos de impurezas foram transformados em partículas, por meio de um moinho de martelos com peneira com orifícios de 4 mm de diâmetro. As partículas de PET, por não apresentarem a granulometria desejada, foram outra vez moídas, no mesmo moinho, com peneira de malha 1,5 x 19,0 mm. As partículas de PET foram classificadas em peneira de malha 1 x 1 mm para a retirada de finos.

De acordo com os tratamentos, o poliestireno foi dissolvido em tolueno preparando-se uma solução a 20% (p/p).

As densidades da madeira, do poliestireno e do PET foram, respectivamente, iguais a  $0,50\text{ g/cm}^3$ ,  $0,85\text{ g/cm}^3$  e  $1,13\text{ g/cm}^3$ .

### 2.2 Plano experimental

O experimento foi instalado com 22 tratamentos e duas repetições, conforme mostra a Tabela 1, totalizando 44 chapas. Utilizaram-se três proporções, em relação à massa seca de madeira, de poliestireno (PS) (0%, 25% e 50%) e duas proporções de PET/PS (5/20% e 10/40%), combinados com

**Tabela 1.** Variáveis experimentais utilizadas na produção das chapas.**Table 1.** Experimental variables used in the board production

---

T <sub>1</sub> 0% PS / 100% madeira / 4% adesivo
T <sub>2</sub> 0% PS / 100% madeira / 6% adesivo
T <sub>3</sub> 25% PS / 75% madeira / 0% adesivo / 6% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>4</sub> 25% PS / 75% madeira / 4% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>5</sub> 25% PS / 75% madeira / 6% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>6</sub> 50% PS / 50% madeira / 0% adesivo / 6% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>7</sub> 50% PS / 50% madeira / 4% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>8</sub> 50% PS / 50% madeira / 6% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>9</sub> 25% PS / 75% madeira / 4% adesivo
T <sub>10</sub> 25% PS / 75% madeira / 6% adesivo
T <sub>11</sub> 50% PS / 50% madeira / 4% adesivo
T <sub>12</sub> 50% PS / 50% de madeira / 6% adesivo
T <sub>13</sub> 5/20 (PET/PS) / 75% madeira / 0% adesivo / 6% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>14</sub> 5/20 (PET/PS) / 75% madeira / 4% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>15</sub> 5/20 (PET/PS) / 75% madeira / 6% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>16</sub> 10/40 (PET/PS) / 50% madeira / 0% adesivo / 6% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>17</sub> 10/40 (PET/PS) / 50% madeira / 4% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>18</sub> 10/40 (PET/PS) / 50% madeira / 6% adesivo / 4% solução de poliestireno em tolueno
T <sub>19</sub> 5/20 (PET/PS) / 75% madeira / 4% adesivo
T <sub>20</sub> 5/20 (PET/PS) / 75% madeira / 6% adesivo
T <sub>21</sub> 10/40 (PET/PS) / 50% madeira / 4% adesivo
T <sub>22</sub> 10/40 (PET/PS) / 50% madeira / 6% adesivo

---

50%, 75% ou 100% de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. Foram empregados três teores de adesivo (0%, 4% e 6%) de uréia-formaldeído ou fenol-formaldeído e três níveis de solução de poliestireno em tolueno (0% , 4% e 6%), calculados em relação à massa seca total das chapas.

### 2.3 Manufatura das chapas

As proporções de madeira e plástico foram calculadas com o objetivo de se obter

chapas com densidade final de 0,60 g/cm<sup>3</sup> e espessura de 1,0 cm . Para o cálculo da massa de madeira considerou-se um teor de umidade de 3% e, para os plásticos, considerou-se a massa de partículas seca.

Utilizaram-se adesivos de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, contendo 65,0% e 50,5% de sólidos resinosos, respectivamente. O catalisador para o adesivo uréico foi o sulfato de amônia (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. A

quantidade de adesivos aplicada nas chapas foi de 4% e 6% de sólidos resinosos, calculada em relação à massa seca da mistura empregada. As partículas de madeira e de plástico foram pesadas, em quantidade suficiente para produzir duas chapas e misturadas com o adesivo em um misturador tipo tambor rotatório com velocidade de 26 rotações por minuto. O adesivo e a solução de poliestireno em tolueno foram aplicados por meio de bico injetor, acionado por compressor de ar, durante um tempo médio de aplicação de cinco minutos. O método de aplicação consistiu em adicionar inicialmente o adesivo e, posteriormente a solução de poliestireno em tolueno.

O colchão foi formado, manualmente, sobre uma chapa de alumínio de 3,5 milímetros de espessura, colocada sob uma caixa de madeira, sem fundo e sem tampa, com dimensões de 40 x 40 x 25 centímetros. As partículas foram espalhadas na caixa, orientadas ao acaso.

A prensagem foi realizada em prensa da marca INCO, acionada por pistão hidráulico, com capacidade de até 100 toneladas, com aquecimento nos dois pratos, por meio de resistências elétricas. A prensagem foi efetuada obedecendo ao ciclo mostrado na Figura 1. A temperatura foi regulada para 185°C e o tempo total de prensagem foi de cinco minutos. O tempo de prensagem foi semelhante àquele utilizado na fabricação comercial de madeira aglomerada, ou seja, sete a oito segundos por milímetro de chapa quando prensada a temperaturas próximas de 180°C.

O ciclo foi composto de dois patamares de pressão, ambos de 32 kgf/cm<sup>2</sup>, necessários para se obter a espessura final desejada. Para atingir esses patamares, foi executado o fechamento dos pratos da prensa em dois estágios. No primeiro, foram gastos 10 segundos

para atingir 32kgf/cm<sup>2</sup>, que foram mantidos por 60 segundos. Em seguida, a pressão decresceu para valores próximos a 12 kgf/cm<sup>2</sup>. Ao ser atingida esta pressão, acionou-se o sistema hidráulico da prensa até se obter novamente a pressão de 32 kgf/cm<sup>2</sup> que foi mantida por 120 segundos.

Depois de retiradas da prensa, as chapas foram condicionadas em caixas de madeira, na temperatura e umidade relativa ambiente. Após a estabilização, as chapas foram esquadrejadas, com 38 centímetros de lado e lixadas. Em seguida, foram confeccionados os corpos de prova, conforme esquema apresentado na Figura 2.

## 2.4 Ensaios

Todos os ensaios foram realizados segundo as recomendações da norma ASTM D 1037-91, com algumas modificações (ASTM, 1991). Os testes de resistência foram feitos em máquina universal de ensaio LOS, de 10 toneladas, com corpos de prova estabilizados a 75% de umidade relativa e 23°C.

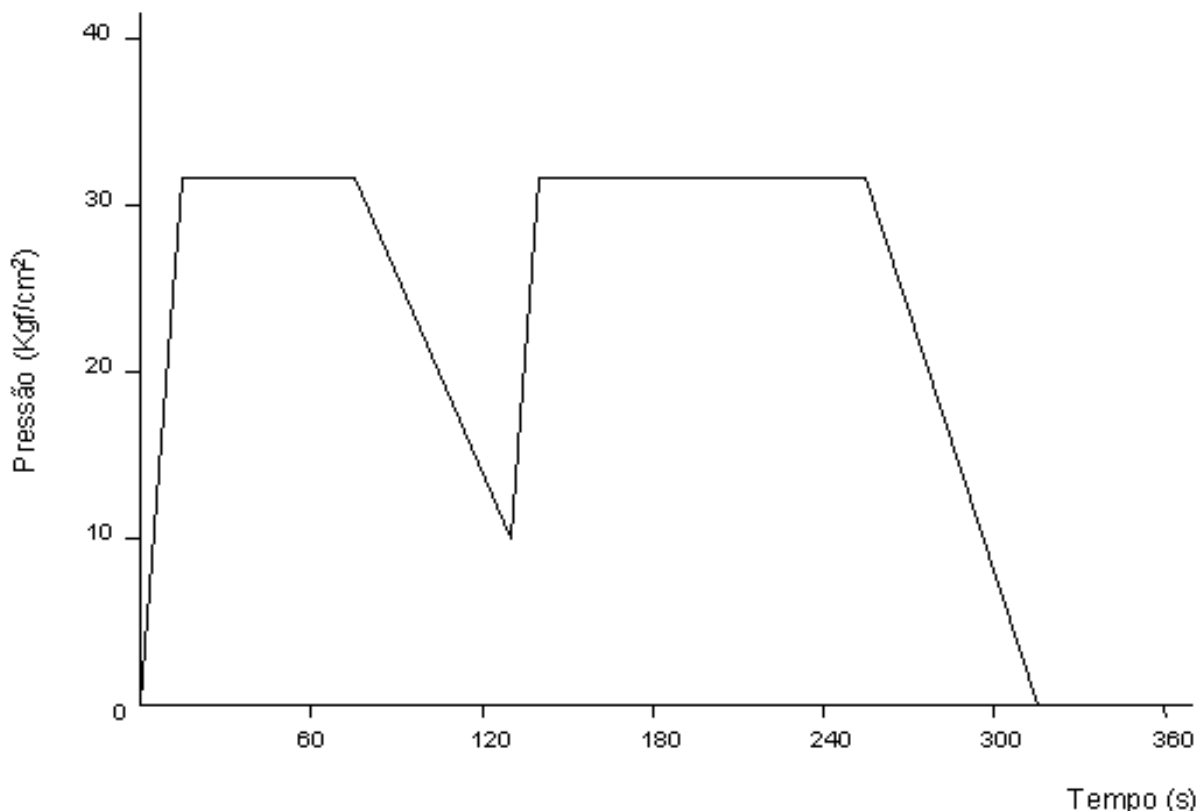
### 2.4.1 Flexão estática

Os ensaios de flexão estática foram conduzidos em corpos de prova com 38,0 centímetros de comprimento e 7,6 centímetros de largura, a uma velocidade de ensaio de 5mm/minuto.

### 2.4.2 Tração perpendicular à superfície da chapa

Para os testes de tração perpendicular à superfície, utilizaram-se corpos de prova de 5,0 x 5,0 cm, com as faces coladas em blocos de alumínio, com adesivo à base de epóxi.

No momento da ruptura, registrou-se a carga máxima.



**Figura 1.** Ciclo de prensagem aplicado na produção de chapas de madeira/plástico.

*Figure 1.* Pressuring cycle applied in the production of wood/plastic boards.

#### 2.4.3 Arrancamento de parafusos

Os corpos de prova apresentaram dimensões de 5,0 x 5,0 cm. Os testes foram conduzidos em plano normal à superfície (facial). Dois corpos de prova foram colados face x face, com adesivo à base de PVA (acetato de polivinil). A velocidade do teste foi mantida em 1,5 mm/minuto. Utilizaram-se parafusos para madeira, de acordo com as especificações da ASTM D 1037- 91 (ASTM, 1991).

#### 2.4.4 Absorção de água e inchamento em espessura

Os ensaios foram realizados em corpos de prova de 30,0 x 7,6 cm . Os corpos de prova

ficaram imersos, na posição vertical ao seu comprimento, num balde com água, durante 24 horas. A determinação das dimensões e pesagem foi feita após a saturação dos corpos de prova .

#### 2.5 Análise estatística

Os resultados dos testes foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para comparação entre os tratamentos a 1% e 5% de probabilidade.

Os tratamentos para cada tipo de adesivo foram comparados entre si por meio do teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. A comparação entre adesivos foi feita, por meio do teste t de Student, a 5% de probabilidade.

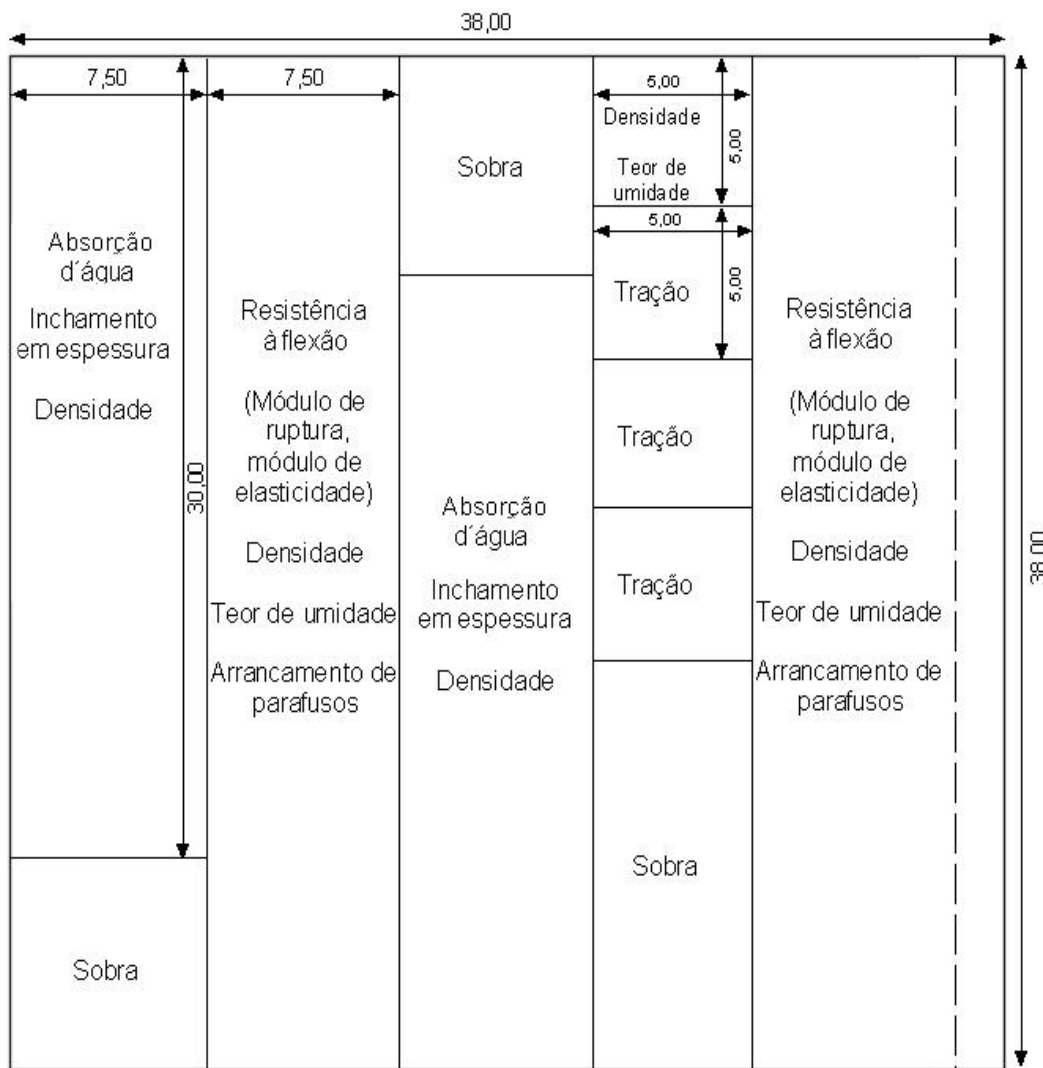


Figura 2. Diagrama mostrando o recorte das chapas para a retirada dos corpos de prova.

Figure 2. Cutting diagram for testing the particleboards.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Módulo de ruptura

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o aumento no teor de adesivo resultou em aumento do módulo de ruptura tanto para as chapas produzidas apenas com partículas de

madeira, quanto para aquelas contendo mistura de partículas de PS e de PET/PS. Estes resultados são coerentes com dados encontrados na literatura (Kollmann et al., 1975; Moslemi, 1974; Maloney, 1977). Para as chapas produzidas com adesivo à base de uréia-formaldeído e contendo partículas de PS, todos os incrementos foram significativos,

exceto para as chapas produzidas com 50% de PS. Para as chapas produzidas com adesivo fenólico, apenas naquelas contendo partículas de PS com adição da solução de PS, não houve diferença significativa. Para as chapas em que se adicionaram as misturas de PET/PS, o aumento no teor de adesivo à base de uréia não ocasionou diferenças significativas no valor do MOR. Para as chapas fenólicas, o aumento no teor de adesivo ocasionou aumento significativo na resistência das chapas produzidas com mistura de partículas de PET/PS, nas proporções de 5/20% e 10/40%, combinada com a adição de PS em solução.

A magnitude do efeito foi afetada pela composição das chapas. As chapas com melhor desempenho para o módulo de ruptura foram aquelas produzidas com 50% de poliestireno e solução de poliestireno em tolueno, e com 25% de poliestireno sem solução de poliestireno em tolueno, com 4% ou 6% de adesivo. Para as chapas contendo PET/PS, os valores médios mais elevados foram observados nas chapas com 5/20% de PET/PS e solução de tolueno e 6% de adesivo.

O MOR das chapas para as quais se utilizou apenas a solução de PS foi menor do que aquelas fabricadas com a mesma composição e que receberam os adesivos.

De modo geral, todas as chapas que continham em sua composição partículas de madeira e poliestireno apresentaram valores de módulo de ruptura superiores aos das chapas fabricadas apenas com madeira.

Observou-se, ainda, que, apesar do baixo teor de adesivo empregado, foi possível produzir chapas com MOR próximo ao valor mínimo utilizado em práticas industriais.

### 3.2 Módulo de elasticidade

Analisando-se a Tabela 2 observa-se ainda que os diversos tratamentos não

afetaram significativamente o valor do módulo de elasticidade (MOE). Os maiores valores de MOE foram observados nas chapas produzidas com 50% de poliestireno e solução de poliestireno em tolueno, com 4% e 6% de adesivo. Os valores médios para as chapas com 50% de poliestireno, dentro dos níveis de adesivos considerados, foram superiores em 24% e 32% aos encontrados nas chapas contendo apenas partículas de madeira. Praticamente todas as chapas elaboradas com partículas de madeira e poliestireno apresentaram valores médios de módulos de elasticidades superiores aos encontrados nas chapas produzidas com PET/PS.

### 3.3 Tração perpendicular à superfície

Conforme pode ser observado na Tabela 3, a resistência à tração perpendicular à superfície de todas as chapas foi inferior ao valor mínimo exigido pela norma. Isto foi ocasionado, provavelmente, pelo pequeno teor de adesivo empregado na fabricação das chapas. As chapas com maior ligação interna foram aquelas produzidas com solução de poliestireno em tolueno, particularmente as que possuíam em sua composição 25% de poliestireno e 6% de adesivo, cujo valor médio foi 31% superior ao valor determinado nas chapas testemunha com o mesmo nível de adesivo. Embora, de modo geral, não tenha sido detectado, pelo teste de Scott-Knott, diferença estatística entre os valores médios observados nas chapas com 6% de adesivo e solução de poliestireno em tolueno, percebe-se, pelos resultados apresentados, que estes valores superaram numericamente aqueles observados nas chapas sem plástico.

De modo geral, nas chapas para as quais houve efeito significativo do tipo de adesivo, aquelas produzidas com adesivo fenólico foram mais resistentes.



**Tabela 2.** Valores médios dos módulos de ruptura (MPa) e de elasticidade (GPa)**Table 2.** Module of the rupture (MPa) and module of elasticity (GPa) mean values

Tipo de plástico	Tratamento	Teor de plástico	Teor de adesivo	Teor da solução de poliestireno em tolueno	Módulo de ruptura		Módulo de elasticidade		
					Uréia	Fenol	Uréia	Fenol	
PS	1	0	4	0	11,21 Ba	8,69 Ca	2,44 Aa	1,85 Aa	
	2	0	6	0	15,81 Aa	13,14 Ba	2,97 Aa	2,30 Aa	
	4	25	4	4	12,61 Ba	9,95 Ca	2,60 Aa	2,32 Aa	
	5	25	6	4	15,86 Aa	13,06 Bb	3,05 Aa	2,85 Aa	
	7	50	4	4	14,34 Aa	14,22 Aa	2,68 Aa	2,10 Aa	
	8	50	6	4	14,76 Aa	16,00 Aa	3,03 Aa	2,84 Aa	
	9	25	4	0	10,04 Ba	11,67 Ba	2,04 Aa	2,51 Aa	
	10	25	6	0	14,01 Aa	16,88 Aa	2,76 Aa	2,63 Aa	
	11	50	4	0	13,20 Aa	9,11 Ca	2,88 Aa	2,00 Aa	
	12	50	6	0	15,87 Aa	12,12 Ba	2,89 Aa	2,47 Aa	
	PET/PS	14	5/20	4	4	13,79 Aa	8,41 Cb	2,61 Aa	1,76 Aa
		15	5/20	6	4	14,95 Aa	14,07 Aa	3,03 Aa	2,14 Aa
17		10/40	4	4	11,17 Ba	11,67 Ba	2,19 Aa	2,02 Aa	
18		10/40	6	4	12,10 Ba	10,16 Ca	2,45 Aa	2,12 Aa	
19		5/20	4	0	10,90 Ba	10,13 Ca	2,23 Aa	1,78 Ab	
20		5/20	6	0	11,78 Ba	10,60 Ca	2,45 Aa	2,11 Aa	
21		10/40	4	0	10,46 Ba	10,87 Ca	1,96 Aa	2,13 Aa	
22		10/40	6	0	11,60 Ba	9,94 Ca	2,21 Aa	2,24 Aa	
Sem adesivos									
OS		3	25	0	6	.	6,88 E		1,41 A
	13	5/20	0	6	.	6,55 C		2,86 A	
PET/PS	6	50	0	6	.	11,60 B		1,61 A	
	16	10/40	0	6	.	7,75 C		1,49 A	

Para cada adesivo, letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos pelo teste de Scott-Knot, a 5% de probabilidade. Para cada tratamento, letras minúsculas comparam o efeito do adesivo pelo teste t de student, a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Valores médios da resistência à tração perpendicular e arrancamento de parafuso (MPa)**Table 3.** Internal bond and screw withdraw mean values (MPa)

Tipo de plástico	Tratamento	Teor de plástico	Teor de adesivo	Teor da solução de poliestireno em tolueno	Tração perpendicular		Arrancamento de parafuso		
					Uréia	Fenol	Uréia	Fenol	
PS	1	0	4	0	0,30 Ea	0,33 Da	1270 Ba	1222 Ba	
	2	0	6	0	0,57 Ba	0,52 Ba	1823 Aa	1835 Aa	
	4	25	4	4	0,37 Da	0,41 Ca	1665 Aa	1513 Ba	
	5	25	6	4	0,66 Ab	0,75 Aa	2000 Aa	2158 Aa	
	7	50	4	4	0,48 Ca	0,44 Ca	1738 Aa	2006 Aa	
	8	50	6	4	0,52 Cb	0,60 Ba	1939 Aa	2230 Aa	
	9	25	4	0	0,22 Fb	0,33 Da	1203 Ba	1373 Ba	
	10	25	6	0	0,45 Cb	0,55 Ba	1866 Aa	1908 Aa	
	11	50	4	0	0,40 Da	0,31 Db	1446 Ba	1483 Ba	
	12	50	6	0	0,44 Ca	0,41 Ca	1656 Aa	1750 Aa	
	PET/PS	14	5/20	4	4	0,51 Ca	0,38 Cb	18123 Aa	1440 Ba
		15	5/20	6	4	0,67 Aa	0,61 Ba	2088 Aa	2182 Aa
17		10/40	4	4	0,31 Ea	0,40 Ca	1811 Aa	1841 Aa	
18		10/40	6	4	0,58 Ba	0,57 Ba	2158 Aa	1872 Aa	
19		5/20	4	0	0,34 Da	0,29 Da	1574 Ba	1708 Aa	
20		5/20	6	0	0,49 Cb	0,58 Ba	1635 Aa	1848 Aa	
21		10/40	4	0	0,22 Fb	0,35 Da	1392	1276 Ba	
22		10/40	6	0	0,29 Eb	0,43 Ca	1835 Aa	1732 Aa	
Sem adesivos									
PS		3	25	0	6	.	0,12 E		1416 B
	6	50	0	6	.	0,22 E		1792 A	
PET/PS	13	5/20	0	6	.	0,12 E		936 B	
	16	10/40	0	6	.	0,17 E		1495 B	

Para cada adesivo, letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos pelo teste de Scott-Knot, a 5% de probabilidade. Para cada tratamento, letras minúsculas comparam o efeito do adesivo pelo teste t de student, a 5% de probabilidade.

### 3.4 Arrancamento de parafusos

Todas as chapas superaram o valor exigido pela norma, inclusive aquelas produzidas sem adesivo. As chapas que apresentaram valores médios mais elevados para o arrancamento de parafusos foram aquelas produzidas com solução de poliestireno em tolueno, independentemente da relação de mistura utilizada. As chapas com 50% de poliestireno, 4% e 6% de adesivo e solução de tolueno apresentaram valores que foram 64% e 22%, respectivamente, superiores aos valores médios obtidos para as chapas sem plástico. Para a relação PET/PS igual a 5/20%, a mesma comparação leva a uma diferença favorável às chapas com plástico de 18% e 19%. Não foram observadas diferenças significativas ocasionadas pelo tipo de adesivo.

### 3.5 Absorção de água e inchamento em espessura

Todas as chapas contendo plástico apresentaram valores de absorção inferiores aos das chapas sem plástico. As chapas produzidas com 50% de poliestireno e solução de tolueno apresentaram menores valores médios de absorção. Nesse caso, bem como para as demais variáveis analisadas, pôde-se observar o efeito benéfico da solução de poliestireno em tolueno, ao se comparar os tratamentos em que esta substância foi aplicada com os tratamentos similares, sem tolueno. Assim, os valores de absorção nas chapas correspondentes aos tratamentos 7 e 8 são cerca de 34% e 32% inferiores aos valores determinados nos tratamentos 11 e 12, sem solução de poliestireno em tolueno, para os teores de adesivo de 4% e 6%, respectivamente.

Entre as chapas fabricadas sem adesivo, aquelas que apresentaram menores valores

médios de absorção de água, foram produzidas com 50% de plástico. Isto pode ser atribuído à influência do plástico na redução da higroscopicidade da mistura madeira/plástico.

O inchamento em espessura para as chapas contendo plástico, após 24 horas de imersão em água, (Tabela 4) foi sempre inferior ao apresentado nas chapas sem plástico, sendo aquelas produzidas com maiores teores de plástico e adesivo as que sofreram menor influência nesta propriedade.

Para a maioria das chapas não se observou efeito significativo do tipo de adesivo. Para as chapas nas quais esse efeito foi observado, aquelas produzidas com adesivo à base de uréia tiveram maior inchamento. Isso era esperado, uma vez que o adesivo à base de uréia-formaldeído apresenta baixa resistência à umidade.

Embora as normas para comercialização de chapas de partículas não estabeleçam limites para absorção de água ou inchamento em espessura, na prática observa-se uma faixa bastante ampla de valores para estas propriedades. Conforme tabela de propriedades físicas e mecânicas editadas pelo Forest Products Laboratory (1987), as chapas comerciais de partículas de madeira têm apresentado para o teste de absorção de água e inchamento em espessura, valores entre 5% e 10% e 50% e 10% e 50%, após 24 horas de imersão, respectivamente. Dessa forma, observa-se que, de modo geral, as chapas produzidas com plástico apresentaram um comportamento semelhante ao verificado nas chapas de partículas comercializadas. Deve-se, contudo, ressaltar que não foi utilizada parafina em emulsão o que, provavelmente, reduziria a variação dimensional das chapas.

Para todas as propriedades avaliadas, as chapas produzidas sem adesivo apresentaram, de modo geral, valores médios inferiores aos das chapas com adesivo.

**Tabela 4.** Absorção de água e inchamento após 24 horas de imersão em água %**Table 4.** Twenty four hours water absorption and thickness swelling mean values (%)

Tipo de plástico	Tratamento	Teor de plástico	Teor de adesivo	Teor da solução de poliestireno em tolueno	Absorção de água		Inchamento		
					Uréia	Fenol	Uréia	Fenol	
PS	1	0	4	0	165,07 Aa	149,59 Ab	56,75 Aa	56,75 Aa	
	2	0	6	0	142,16 Ba	135,74 Aa	40,00 Ba	45,75 Ba	
	4	25	4	4	89,63 Ca	88,12 Ba	19,25 Ca	22,00 Ca	
	5	25	6	4	82,91 Ca	82,14 Ba	17,00 Da	19,25 Ca	
	7	50	4	4	72,72 Ca	55,33 Da	11,75 Da	14,00 Da	
	8	50	6	4	63,53 Ca	52,54 Db	8,50 Da	10,50 Da	
	9	25	4	0	84,22 Ca	87,37 Ba	23,00 Ca	26,40 Ca	
	10	25	6	0	81,24 Ca	84,53 Ba	20,40 Ca	23,50 Ca	
	11	50	4	0	81,73 Ca	74,28 Ba	15,50 Da	18,60 Ca	
	12	50	6	0	79,97 Ca	69,64 Cb	11,10 Da	13,40 Da	
	PET/PS	14	5/20	4	4	81,79 Ca	95,66 Ba	23,80 Ca	26,95 Ca
		15	5/20	6	4	79,28 Cb	80,50 Ba	21,40 Ca	24,00 Ca
17		10/40	4	4	70,32 Ca	79,42 Ba	18,00 Da	21,00 Ca	
18		10/40	6	4	68,80 Ca	71,83 Ba	11,80 Da	15,40 Da	
19		5/20	4	0	89,98 Ca	92,27 Ba	28,80 Ca	30,00 Ca	
20		5/20	6	0	87,65 Ca	90,83 Ba	26,65 Ca	20,35 Cb	
21		10/40	4	0	81,09 Ca	89,26 Ba	20,60 Ca	24,20 Ca	
22		10/40	6	0	78,54 Ca	84,00 Ba	16,65 Da	18,95 Ca	
Sem adesivos									
PS		3	25	0	6	.	131,53 A		25,00 C
	6	50	0	6	.	48,51 D		4,25 E	
PET/PS	13	5/20	0	6	.	93,21 B		30,50 C	
	16	10/40	0	6	.	99,65 B		6,00 E	

Para cada adesivo, letras maiúsculas comparam o efeito dos tratamentos pelo teste de Scott-Knot, a 5% de probabilidade. Para cada tratamento, letras minúsculas comparam o efeito do adesivo pelo teste t de student, a 5% de probabilidade.

#### 4 CONCLUSÕES

O presente estudo evidenciou a possibilidade de se produzir painéis por meio da mistura de partículas de madeira e plástico, cujas propriedades mecânicas avaliadas atenderam, de forma geral, aos padrões mínimos exigidos pela norma ANSI/A 208.1-1993, ANSI (1993), para chapas de madeira aglomerada de baixa densidade. Outras inferências podem ser feitas a partir do respectivo estudo:

Tanto para as chapas produzidas com partículas de madeira quanto para aquelas produzidas com a mistura de madeira com partículas de PS e PET/PS, aumento no teor de adesivo resultou em chapas mais resistentes, independente do tipo de adesivo utilizado.

De modo geral, as chapas produzidas com 25% ou 50% de poliestireno, solução de poliestireno e 4% ou 6% de adesivo, para um mesmo nível de adesivo, apresentaram, em quase totalidade, valores de resistência superiores às demais.

A adição de PET/PS, sem a adição concomitante de solução de poliestireno, foi prejudicial à resistência das chapas.

A absorção de água, após 24 horas de imersão, para todas as chapas foi superior ao valor máximo normalmente observado em chapas comerciais, sendo os menores valores determinados nas chapas contendo plástico.

O inchamento em espessura foi semelhante àqueles normalmente obtidos em chapas aglomeradas comerciais.

A adição da solução de poliestireno em tolueno alterou favoravelmente todas as propriedades dos compósitos produzidos.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD - ANSI. **Mat-formed wood particleboard: specification ANSI A 208.1.1993**. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panels: ASTM D 1037-91**. Philadelphia: ADTM, v.04.09, 1991. (Annual Book of ASTM Standards).

ANUÁRIO BRASILEIRO DO PLÁSTICO. **Plástico moderno**. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PÁINEIS DE MADEIRA AGLOMERADA - ABIPA. Paraná: ABIPA, 2002. (Boletim informativo)

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO – BNDES. - **Produtos florestais**. Área de operações industriais – gerência setorial 1, 2001.

BREGNER, K. I.; SCHNEIDER, M. H.; JONES, R. T. The influence of moisture content on the flexural strength of styrene-polymerized wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 38, n. 4, p. 55-58, Apr. 1988.

COUTINHO, F. M. B.; COSTA, T. H. S.; CARVALHO, D. L.; GORELOVA, M. M.; SANTA MARIA, L. C. Thermal Behaviour of Modified Wood Fibers. **Polymer Testing**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 299-310, 1998.

ELLIS, S. C.; RUDDIK, J. N. R.; STEINER, P. R. A feasibility study of composites produced from telephone directory paper, plastics, and other adhesives. **Forest Products Journal**, Madison, v. 43, n. 7/8, p. 23-26, July/Aug. 1993.

ENGLISH, B.; CLEMONS, C. M.; SARK, N.; SCHNEIDER, J. P. **Waste-wood-Derived fillers for plastics**. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, forest service, Forest Products Laboratory, 1996. 15 p. (USDA. General Technical Report. FPL-GTR-91).

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington: USDA/FS, 1987. 466 p. (Agriculture Handbook, 72).

HAN, G. S.; ICHINOSE, H.; TAKASE, S.; SHIRAISHI, N. Composites of wood and polypropylenes III. **Mokuzai Gakkaishi**, Tokyo, v. 35, n. 3, p. 1100-1104, 1989.

KOLLMAN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology: wood based materials**. New York: Springer-Verlag, 1975. v. 2

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Publications, 1977. 672 p.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: materials**. Carbandale: Southern Illinois University Press, 1974. v. 1, 243 p.

OKSMAN, K.; CLEMONS, C. Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene – wood flour composites. **Journal**

**of Applied Polymer Science**, New York, v. 67, n. 9, p. 1503-1513, Feb. 1998.

SIMONSEN, J.; JACOBSON, R.; ROWELL, R. Properties of styrene-maleic anhydride copolymers containing wood-based fillers. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 89-92, Jan. 1998.

SONG, X. M.; HWANG, H. Y. A study of the microscopic characteristics of fracture surface of MDI-bonded fiber/ recycled tire rubber composites using scanning electron microscopy. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 131-141, Apr. 1997.

WANAGE, HATANO, Y.; SHIBUSAWA, T.; HIDEAKI, K.; KIM YUJUNG. Effects of D-PVC content on properties of wood particle/plastic composite board. **China Wood Industry**, Beijing, v. 12, n. 3, p. 6-9, 1998.

YAM, K. L.; GOGOI, B. K.; LAI, C. C.; SELKE, S. E. Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene. **Polymer Engineering and Science**, Brookfield, v. 30, n. 11, p. 693-699, June 1990.

YOUNGQUIST, J. A.; KRZYSIK, A. M.; MUEHL, J. H.; CARLL, C. Mechanical and physical properties of air-formed wood-fiber/polymer-fiber composites. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n. 6, p. 42-48, June 1992.