

## CONFEÇÃO DE COMPOSTO DE MADEIRA-PLÁSTICO UTILIZANDO RESÍDUOS DE *Eucalyptus grandis* HILL EX Maiden E POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD)

Divino Eterno Teixeira<sup>1</sup>  
José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira<sup>1</sup>  
Alexandre Florian da Costa<sup>2</sup>

### RESUMO

Neste trabalho foram utilizados resíduos de madeira de *Eucalyptus grandis* em forma de cavacos e plástico pós-consumo tipo polietileno de baixa densidade (PEBD), nas proporções de 40%/60%, 50%/50% e 60%/40% de madeira/plástico no composto. Foi observada uma diferença entre a massa específica aparente (MEA) dos tratamentos, sendo necessário realizar uma análise de covariância em função da densidade para a correta interpretação dos resultados. Os tratamentos com maior percentual de PEBD na sua composição foram os que apresentaram melhor desempenho. De forma geral os valores das propriedades mecânicas atingiram os requisitos mínimos da norma ANSI A208.1, usada para classificar chapas de aglomerado, com exceção do MOR e do MOE do tratamento onde uma menor proporção de plástico foi usada.

Palavras-chaves: Composto de madeira-plástico, polietileno, resíduos de madeira

### ABSTRACT

#### MANUFACTURING WOOD-PLASTIC COMPOSITES PANELS USING WOOD CHIPS OF *Eucalyptus grandis* HILL EX Maiden AND RECYCLED LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)

This work utilized wood chips residues of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, and recycled plastic pellets (PEBD), in mixtures with 40%/60%, 50%/50% e 60%/40% of wood/plastic in the composite. It was observed difference among the densities of the treatments. To eliminate this source of variation an analysis of covariance was conducted, with the density as covariate, to make a correct interpretation of the results. Those treatments with a higher proportion of plastic presented a better performance. Overall, most results of the mechanical properties reached the minimum values specified by the ANSI A208.1 standard, except for MOR and MOE in the treatment where a smaller amount of plastic was used.

Key words: Wood-plastic composite, polyethylene, wood residues

---

<sup>1</sup> LPF/IBAMA

<sup>2</sup> EFL/ UnB.

Recebido para publicação em 2002.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, uma fonte de preocupação nos grandes centros urbanos é o aumento da quantidade de resíduos sólidos produzidos, fato que tem sido agravado pelo aumento da concentração de pessoas, e também pela adoção de uma série de facilidades que a industrialização oferece à sociedade. Esses resíduos sólidos são lançados em sua maioria ao meio ambiente. A dificuldade que a exposição desses resíduos têm causado e os custos envolvidos no seu armazenamento têm levado a sociedade, em geral, a buscar alternativas para esse problema, visando à redução do volume de resíduos a serem estocados. Uma das alternativas consiste basicamente na reciclagem de quantidades cada vez maiores de materiais.

Dentre os resíduos sólidos urbanos lançados ao ambiente, um dos materiais que levam mais tempo para se decompor são os resíduos plásticos. O problema do plástico é ainda mais grave, pois a grande maioria acaba chegando aos cursos de água. No Brasil, apenas 15% dos plásticos rígidos e filmes plásticos utilizados são reciclados, correspondendo a cerca de 200 mil toneladas por ano e representando 3% da quantidade de lixo urbano gerado nas principais capitais do País (Cempre, 1998). Os principais tipos de plásticos mais consumidos no País, no período de 1986 a 1991, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT (1996), são os apresentados na Tabela 1.

Vários compostos têm sido produzidos com plástico reciclável e muitos outros estão em fase de pesquisa, todos visando um aumento da reciclagem. A confecção de painéis e perfis com a combinação de fibras naturais (madeira, resíduos da agroindústria, etc.) com termoplásticos tem sido o objetivo de uma indústria recentemente em expansão, com a elaboração de um produto final de qualidade já utilizado em escala comercial. Esta combinação não só permite aumentar a reciclagem de plásticos, como também possibilita agregar valor

aos resíduos da agricultura e da produção madeireira.

Os produtos de madeira-plástico podem ser fabricados a partir de dois processos principais: moldagem ou extrusão, sendo que ambos utilizam alta pressão e temperatura (Youngquist, 1995). O processo de confecção tolera pouca ou nenhuma água. A remoção da umidade das partículas de madeira e de plástico é algo crítico, pois com o aquecimento a água em excesso pode evaporar e dar um aspecto esponjoso ao painel, resultando em um material de baixa resistência. O teor de umidade das partículas de madeira não deve ser superior a 2% (English, 1996). Segundo Youngquist (1995), estes compostos podem ser pregados, parafusados, e trabalhados com ferramentas convencionais. O autor ainda comenta que todo o resíduo proveniente de sobras e aparas pode ser reciclável em novos painéis. O autor cita ainda a utilização destes materiais na indústria de automóveis e na construção civil.

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um produto a base de madeira e plástico e sua caracterização tecnológica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto foi desenvolvido no Laboratório de Produtos Florestais - LPF do IBAMA. Para a confecção dos painéis, foram utilizados cavacos oriundos de resíduos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, procedentes de Arapoti-PR e material plástico reciclado (pós-consumo) de polietileno de baixa densidade (PEBD) obtido do lixo e sem seleção, em forma de pellets.

### Preparação do material

Os cavacos de madeira foram processados num triturador de martelo com peneira de abertura de 9,25 mm de diâmetro. A classificação mecânica das partículas foi feita utilizando duas peneiras, uma com abertura de 2 mm e outra de 1 mm. O material selecionado foi aquele que ficou retido na segunda

peneira. As partículas de madeira foram submetidas à secagem em estufa elétrica ventilada até 2% de teor de umidade. A classificação do plástico foi realizada em um conjunto de peneiras vibratórias, sendo utilizadas peneiras com aberturas de 3,35 e de 0,850 mm e o material utilizado foi aquele que ficou retido na segunda peneira.

#### Confecção das chapas

Foram utilizados três tratamentos variando-se a proporção de PEBD e de madeira (baseado na massa seca). Os tratamentos foram divididos como mostra a Tabela 2. Cada tratamento consistiu de três repetições.

A prensagem foi feita a uma temperatura média de 175 °C. O colchão foi confeccionado manualmente, após a mistura prévia dos materiais, e a seguir fez-se a distribuição em uma caixa formadora, sendo posteriormente levado a uma prensa de pratos planos por 15 minutos. O resfriamento das chapas (medindo 39x39 cm) foi feito à temperatura ambiente durante aproximadamente 12 horas. Depois de resfriadas, as chapas foram climatizadas em uma sala com condições de umidade e temperatura controladas e cortadas em corpos-de-prova (c.p.) para os ensaios de acordo com a norma da American Society for Testing and Material-ASTM D 1037-96a (ASTM, 1998). Para tanto, foram realizados os ensaios de flexão estática, arranque de parafuso (AP), dureza janka (DJ), ligação interna (LI), absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), após 2 e 24 horas, além de uma adaptação da norma do teste de inchamento não recuperável (IENR) dos painéis. Neste caso os corpos-de-prova foram deixados imersos em água por três semanas, tendo a sua espessura e a sua massa medidas todos os dias na primeira semana e nas segundas e sextas-feiras das duas semanas seguintes, quando foram retirados da água e colocados em uma estufa ventilada a 60 °C por duas semanas. A seguir foram levados para a sala de climatização até atingirem peso constante. Posteriormente foram feitas novamente as medições de espessura e massa e então calculado o inchamento não recuperável dos

painéis. Os resultados das propriedades mecânicas foram comparados à norma da American National Standards (ANSI) A208.1-1993 e os das propriedades físicas com a norma Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN) 52364, ambas usadas para classificar painéis de madeira aglomerada.

#### Análise estatística

O delineamento foi inteiramente ao acaso e a análise dos dados foi feita através de uma análise de variância (ANOVA). As diferenças entre tratamentos foram averiguadas utilizando o Teste de Tukey HSD a 5% de probabilidade. Para o cálculo das análises estatísticas foi utilizado o programa estatístico Statistical Program for Social Sciences (SPSS) como ferramenta auxiliar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar da massa específica aparente (MEA) ter sido calculada para um mesmo valor de 0,80 g/cm<sup>3</sup>, observou-se uma variação significativa entre os tratamentos de acordo com a ANOVA. A separação entre MEA dos tratamentos foi significativa e as médias foram separadas em três grupos distintos pelo Teste de Tukey HSD. Essa diferença ocorreu devido à diferença de espessura, que também apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo separada em três grupos distintos de forma semelhante a MEA dos painéis. Como a MEA exerce influência significativa sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, foi realizado um estudo da sua correlação com as demais propriedades avaliadas, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4. Este estudo mostra se as eventuais diferenças de propriedades entre tratamentos sofreram influência da MEA dos painéis.

Observando-se as Tabelas 3 e 4 ficou evidente que ocorreu correlação significativa entre a MEA e as propriedades físicas (exceto a massa) enquanto que, para as mecânicas, somente o MOR foi significativo. Caso fosse realizada uma análise de

variância nessas propriedades, seriam obtidos resultados equivocados, pois estaria sendo analisada não somente a influência do percentual de plástico, mas também a influência da variação da MEA nessas propriedades. Visando eliminar essa fonte de variação, foi realizada uma análise de covariância (ANCOVA) utilizando-se a MEA como covariável. Os valores estimados (obtidos pela ANCOVA) e observados são apresentados nas Tabelas 5 e 6. No caso onde não houve correlação com a MEA, são apresentados apenas os valores observados. Para as propriedades que apresentaram correlação significativa com a MEA não foram realizadas análises de variância por motivos mencionados anteriormente.

#### Propriedades Físicas

##### a) Inchamento em espessura após 2 e 24 horas (IE)

O IE após duas horas de imersão em água, foi inferior ao requerido pela norma DIN 52364 para todos os três tratamentos, como mostra a Tabela 5. O resultado do Teste de Tukey HSD mostra que não houve diferença significativa, a um nível de significância de 5%, entre os tratamentos T2 e T3, e estes tratamentos foram estatisticamente diferentes do tratamento T1. Isso ocorreu principalmente devido à grande variância dos dados corrigidos apresentados pelos tratamentos T1 e T3, considerando-se a MEA como covariável. O baixo IE era esperado devido à alta estabilidade dimensional dos painéis de madeira-plástico conforme a literatura.

O resultado do teste de IE, após 24 horas de imersão em água, foi considerado baixo quando comparado aos painéis de aglomerados convencionais em todos os três tratamentos. A diferença entre as médias para os valores estimados obtidas pelo Teste de Tukey HSD foi significativa para os três tratamentos, sendo separadas em três grupos distintos. Comparando-se estes resultados aos obtidos por Boeglin et al. (1997), observamos que o mesmo utilizou um maior percentual de madeira no composto (75%) e obteve resultados proporcionalmente maiores, com um mínimo de 1%

até um máximo de 10% (média de 6%) de inchamento. Isso pode ser explicado pela maior proporção de madeira no composto em questão, o que resulta em uma maior quantidade de sítios disponíveis para penetração da água no interior do painel. No seu trabalho, Boeglin et al. (1997) menciona que o IE não obedece a um padrão. No entanto, observou-se que isto ocorreu no presente estudo, onde o inchamento diminuiu com o decréscimo do percentual de partículas no composto.

##### b) Inchamento não recuperável (IENR)

Os painéis apresentaram baixo IENR em todos os tratamentos, demonstrando que, mesmo após três semanas imersos em água, os corpos-de-prova retornaram quase que completamente à espessura inicial, principalmente nos tratamentos T2 e T3. Foram alcançados os seguintes valores para o inchamento em espessura residual estimado dos painéis: 2,25%, 0,93% e 0,68% para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. A diferença entre médias apresentou dois grupos homogêneos, sendo que estatisticamente o tratamento T1 diferiu significativamente dos demais.

##### c) Absorção de água após 2 e 24 horas (AA)

Boeglin et al. (1997), mencionaram que a taxa de AA dos painéis de madeira-plástico é superior àquela obtida nos painéis aglomerados convencionais. Entretanto, essa absorção não contribui para aumentar o inchamento em espessura do painel. Os valores estimados mostram que não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos após duas horas de imersão em água, possivelmente devido à alta variância dos dados estimados. A AA pode ser reduzida com o tratamento da superfície dos painéis com algum produto impermeabilizante.

A taxa de AA estimada, após 24 horas de imersão, variou de 25,50% a 2,77% (tratamentos T1 e T3 respectivamente). Apesar dessa diferença, o teste entre médias não encontrou diferenças significativas entre elas devido à alta variância dentro dos tratamentos. Comparando-se este

resultado percebemos que os valores obtidos neste estudo ficaram bem abaixo daqueles obtidos por Boeglin et al. (1997), em torno de 50% após 24 horas, para a mesma classe de MEA. Isto pode ser explicado ao maior percentual de plástico quando comparado ao do citado autor, apesar da utilização de um método menos eficiente para a confecção dos painéis.

#### Propriedades mecânicas

##### a) Ligação interna (LI)

Os valores obtidos no teste de LI dos painéis foram satisfatórios, variando de 0,56 MPa a 0,72 MPa, bem acima dos valores mínimos exigidos pelos dois graus da norma ANSI A208.1-1993 para chapas de aglomerado, que é de 0,40 MPa (grau M1) e 0,45 MPa (grau M2). As médias dos três tratamentos foram consideradas estatisticamente iguais. Os valores apresentaram-se superiores aos observados por Boeglin et al. (1997), possivelmente pelo maior percentual de plástico utilizado no composto; e inferiores aos apresentados no trabalho de Song & Hwang (2001), talvez devido à utilização de adesivos (difenilmetano diisocianato) neste trabalho e à maior MEA dos painéis estudados. Durante a execução do ensaio observou-se que aproximadamente 27% dos corpos-de-prova apresentaram rompimento na linha de cola, mesmo após a repetição do ensaio, demonstrando uma boa colagem interna do painel. Outro fato a ser relatado, é que os corpos-de-prova que foram retirados próximos das bordas das chapas (efeito de borda) apresentaram valores de LI bem inferiores àqueles retirados próximos ao centro, influenciando negativamente a média desses valores.

##### b) Dureza Janka (DJ) e arranque de parafuso (AP)

Os painéis apresentaram valores muito homogêneos para o teste de DJ variando de 4409 N a 4419 N, quase o dobro do valor mínimo solicitado pela norma ANSI A208.1-1993 para painéis de MEA média (2225 N). Não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos. Isto indica que o

composto pode ser bastante promissor para a fabricação de pisos, com a possibilidade de ser revestido com uma cobertura com lâminas de madeiras nobres. Os resultados obtidos pelo ensaio de AP variaram de 1209 N a 1303 N, valores estes que satisfazem plenamente o grau M2 (1000 N) da norma ANSI A208.1-1993. Não houve diferença estatística entre os tratamentos. Quando comparados com a literatura, estes valores mostraram-se inferiores aos obtidos por Falk et al. (2001), de aproximadamente 2550 N a 2686 N estimados para parafusos introduzidos a 17 mm de profundidade no painel, como definido pela norma ASTM D 1037 - 96a, principalmente devido à maior MEA utilizada pelos autores e ao processo de confecção do painel, que melhor homogeneiza a madeira com o plástico no composto.

##### c) Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE)

Os valores de MOR dos painéis (estimados pela ANCOVA) variaram de 9,47 MPa a 12,96 MPa. Não houve diferença significativa entre os três tratamentos testados e todos excederam o mínimo exigido pela norma ANSI A208.1-1993 para o grau M1, porém não alcançaram a classificação para o grau M2. Entretanto, estes valores de MOR foram inferiores aos obtidos por Boeglin et al. (1997) para plástico de PVC, mas superiores quando comparados com plástico tipo PEAD. Quanto ao MOE, os valores obtidos variaram de 1520 MPa a 1747 MPa, não havendo diferença estatística entre os três tratamentos. Somente o tratamento T2 excedeu o grau M1 da norma ANSI A208.1-1993 para painéis de MEA média. Estes valores foram semelhantes aos obtidos por Boeglin et al. (1997).

##### e) "Stress" no limite proporcional (SLP)

Os valores obtidos para SLP variaram de 4,35 MPa a 4,73 MPa, não havendo diferença estatística entre as médias dos tratamentos. O SLP é usado na determinação de cargas de segurança em cálculos estruturais.

Tabela 1. Evolução do consumo de plásticos no Brasil no período de 1986 até 1991.  
Table 1. Evolution of the consumption of plastics in Brazil - 1986 to 1991.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Tabela 2. Composição dos três tratamentos utilizados no projeto.  
Table 2. Treatments tested in the study.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Tabela 3. Estudo da correlação das propriedades físicas com a MEA dos painéis.  
Table 3. Correlation of the physical properties of the panels with the density.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

\*\* - significativo a 1%; \* - significativo a 5%; ns – não significativo.

Tabela 4. Correlação das propriedades mecânicas dos painéis com a MEA  
Table 4. Correlation of the mechanical properties of the panels with the density.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

\*\* - significativo a 1%; \* - significativo a 5%; ns – não significativo.

Tabela 5. Resultados das propriedades físicas dos painéis de madeira-plástico.

Table 5. Results of the physical properties of the wood-plastic panels.

---

---

--	--

---

---

---

(<sup>1</sup>) Valores obtidos nos ensaios (Obtido) e estimados ajustados pela ANCOVA (Estimado). Médias obtidas de 2 c.p. por chapa, num total de 6 c.p. por tratamento, á exceção da MEA que teve 3 c.p. por chapa e 9 por tratamento;

(<sup>2</sup>) Grupos de médias separados pelo teste de Tukey HSD a 5% de significância. Médias agrupadas com a mesma letra dentro de cada coluna não diferem estatisticamente entre si.

(<sup>3</sup>) Norma usada como comparação. ND - Valor não especificado pela norma.

- Números entre parêntesis são desvio padrão dentro de cada tratamento.

Tabela 6. Resultados das propriedades mecânicas dos painéis de madeira-plástico.

Table 6. Results of the mechanical properties of the wood-plastic panels.

---

---

--	--

---

---

---

(<sup>1</sup>) Valores obtidos nos ensaios (Obtido) e estimados ajustados pela ANCOVA (Estimado). Médias obtidas de 2 c.p. por chapa, num total de 6 c.p. por tratamento para DJ e AP e 3 c.p. por chapa, num total de 9 c.p. por tratamento para os demais;

(<sup>2</sup>) Grupos de médias separados pelo teste de Tukey HSD a 5% de significância. Médias agrupadas com a mesma letra dentro de cada coluna não diferem estatisticamente entre si.

(<sup>3</sup>) Normas ANSI usadas como comparação. M1 - Valores para o primeiro grau de painéis de MEA média; M2 - Valores para o segundo grau de painéis de MEA média. ND - Valor não especificado pela norma.

- Números entre parêntesis são desvio padrão dentro de cada tratamento.

## CONCLUSÕES

O material testado no presente trabalho mostrou-se viável tecnicamente em todas as propriedades, exceto para valores de MOR, o MOE e a AA quando uma menor proporção de plástico foi usada. Esta última propriedade pode ser facilmente corrigida pela aplicação de algum tratamento impermeabilizante, de modo que, o composto de madeira-plástico possa ser utilizado para finalidades onde uma alta resistência à flexão não seja algo imprescindível.

Chegou-se à conclusão de que o composto de madeira-plástico apresenta alguns pontos positivos, tais como: alta estabilidade dimensional, boa resistência ao arranque de parafuso, à dureza janka e à ligação interna e apresenta alta taxa de recuperação da espessura inicial.

Os resultados aqui obtidos não devem ser comparados com outros processos de produção como injeção e extrusão, por exemplo, onde ocorre uma maior homogeneização do material quando do derretimento do plástico dentro do equipamento. O painel é promissor para a fabricação de pisos, pois os requisitos básicos de baixo inchamento em espessura e dureza para essa aplicação foram apresentados pelo composto.

Mesmo tendo sido confeccionados em um processo convencional utilizado para painéis reconstituídos de madeira, os resultados alcançados neste estudo foram muito promissores e espera-se o interesse de empresários no desenvolvimento de equipamentos adequados para a confecção e produção em larga escala.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS. 1993. Mat-formed wood particleboard: Specification ANSI A208.1. 1993. Gaithersburg: National Particleboard Association, 9 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. 1998. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. ASTM D 1037 - 96a. Philadelphia: Anual Book of ASTM Standards, v.04.09 Wood. 30 p.

BOEGLIN, N.; TRIBOULOT, P.; MASSON, D. 1997. A Feasibility study on boards from wood and plastic waste: bending properties, dimensional stability and recycling of the board. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 55(1997):13-16. Springer - Verlag.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. 1998. Reciclagem e negócios - plástico granulado. Perfil de uma Recicladora de Plásticos. São Paulo: CEMPRE, 28p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. 1965. Testing of wood chipboards; determination of variation in thickness due to moisture. DIN 52364. Publication date: 1965-04.

ENGLISH, B. et al. 1996. Waste-wood-derived fillers for plastics. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-91. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 15 p.

FALK, H. R. et al. 2001. Performance of fasteners in wood flour-thermoplastic composite panels. *Forest Products Journal*, 51(1):55-61, Madison-WI.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, CEMPRE. 1996. Lixo municipal In: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: s.ed., 278p.

SONG, X.M. & HWANG, J.Y. 2001. Mechanical properties of composites made with wood fiber and recycled tire rubber. *Forest Products Journal*, 51(5):45-51, Madison-WI.



YOUNGQUIST, J. A. 1995. The marriage of wood and non-wood materials. Forest Products Journal, 45(10):25-30, Madison-WI.