

**QUALIDADE DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS  
FABRICADAS COM RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO MECÂNICO DA MADEIRA DE *Pinus  
elliottii* Engelm.**

**QUALITY OF PARTICLEBOARD MADE OF RESIDUES RESULTING FROM PINE WOOD  
MECHANICAL PROCESSING**

Lourdes Patricia Elias Dacosta<sup>1</sup> Clovis Roberto Haselein<sup>2</sup> Elio José Santini<sup>3</sup>  
Paulo Renato Schneider<sup>4</sup> Leandro Calegari<sup>5</sup>

**RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de chapas de madeira aglomerada, confeccionados com resíduos de *Pinus elliottii* Engelm., resultantes do processamento mecânico da madeira. As chapas foram produzidas com dois tipos de resíduos, cavaco e maravalha, utilizados puros ou misturados. O adesivo utilizado foi à base de uréia-formaldeído em proporções de 4, 8 e 12% com base no peso seco das partículas de madeira, e as densidades nominais das chapas foram de 0,6 e 0,7 g/cm<sup>3</sup>. Foram avaliadas as propriedades de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafuso. Os valores das propriedades de flexão estática aumentaram com a proporção de maravalha, com a densidade da chapa, e com o teor de adesivo. Pode-se concluir que, usando as partículas do tipo maravalha, misturadas com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades, são obtidas chapas com qualidade satisfatória.

**Palavras-chave:** resíduos de madeira; chapas aglomeradas, *Pinus elliottii*, uréia-formaldeído.

**ABSTRACT**

This work was undertaken with the objective of evaluating the mechanical properties of particleboard manufactured with slash pine residues, resulting from wood mechanical processing. The boards were produced with two types of residues: chips and shaves, used pure or mixed. The adhesive employed was ureia-formaldehyde in proportions of 4, 8 and 12% based on oven-dry weight of particles, and densities of 0.6 and 0.7 g/cm<sup>3</sup>. There were evaluated the bending properties, internal bond and screw withdraw. The bending properties values increased with increasing shaves in the mixture, with board density and proportion of adhesive. It was possible to conclude that boards made of shaves, with larger proportions of adhesive and higher board densities present satisfactory quality.

**Key words:** particleboard; slash pine; urea-formaldehyde; wood residues.

**INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento das chapas de partículas tem revolucionado a industrialização da madeira ao aumentar consideravelmente o rendimento da matéria-prima. Embora possam ser encontrados vestígios das chapas na cultura egípcia, há 3 mil anos, sua aparição de forma generalizada ocorreu apenas há um século, por duas razões: uma para conseguir superfícies largas, cada vez mais difíceis de serem encontradas na madeira maciça; e outra para buscar uma maior homogeneidade do produto (Vignote e Jiménez, 1996).

As espécies introduzidas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* revelam-se como matéria-prima de importância estratégica para o desenvolvimento da indústria de painéis de madeira no Brasil e em países que têm programas de florestamento e reflorestamento com tais espécies (Keinert Jr., 1993), considerando-se a

1. Engenheira Florestal, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus universitário, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). lpatricia@mail.ufsm.br
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). haseleic@ccr.ufsm.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). santinie@ccr.ufsm.br
4. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). paulors@ccr.ufsm.br
5. Engenheiro Florestal, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). leandrocalegari@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 20/10/2004 e aceito em 1/09/2005.

resistência mecânica e o peso específico pré-estabelecido.

Nos últimos anos, o rendimento da matéria-prima nas serrarias tem-se caracterizado por ser relativamente baixo, aumentando o volume dos resíduos produzidos, o que ocasiona uma forte tendência do uso destes mesmos e de madeiras de inferior qualidade para a produção de chapas aglomeradas.

Dessa forma, a produção de painéis de partículas tem como objetivo aproveitar resíduos da indústria madeireira e toras de pequeno diâmetro que não são utilizados em serrarias e laminadoras (Galvão, 2000).

Um fato a ser considerado é o de que a grande maioria das serrarias do Rio Grande do Sul, por ocasião do desdobro da madeira, não realiza o descascamento das toras, o que dificulta o aproveitamento desses resíduos pelas indústrias de painéis.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados confeccionados com resíduos resultantes do processamento mecânico da madeira de pinus.

## REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Fagundes (2003), a utilização de resíduos de madeira, especialmente aqueles oriundos de serrarias, vem sendo estudada pelas empresas produtoras no Brasil, em função do provimento de madeira, acompanhando decisões que mantenham a qualidade, tais como classificação por espécie, idade da tora, seleção de tipos e armazenagem. Embora teoricamente a maior parte dos resíduos possa ser utilizada no processo de produção de aglomerados, exige-se que seja um resíduo limpo, necessitando, para isso, que as serrarias se adaptem ao desdobro de madeira sem a casca.

Os resíduos gerados na etapa do desdobro são serragem ou pó de serra, costaneiras, lascas, maravalhas, resíduos do refilamento, aparas ou destopo e casca (FAO, 1975; Iwakiri *et al.*, 2000; Fagundes, 2003; Haselein *et al.*, 2002).

Brand *et al.* (2002) classificaram os resíduos de madeira em verde e seco, separando em serragem, cavacos e maravalha, e observaram que a granulometria de cavacos e maravalha foram mais homogêneas que a serragem.

Quanto às características mecânicas, as chapas têm um comportamento elástico-plástico, talvez maior que a própria madeira maciça (Vignote e Jiménez, 1996).

No Brasil, onde são utilizados como matéria-prima, os cavacos de madeira provenientes de florestas plantadas, a qualidade do painel de madeira aglomerada é superior àquela dos países que utilizam maciçamente resíduos industriais, visto que as plantas brasileiras têm maior controle sobre o tamanho, espessura e características mecânicas das partículas de madeira (Roque, 1998). Já a presença de casca no resíduo diminui a qualidade da superfície das chapas assim como a sua resistência. Em consequência disso, o resíduo tem menor aceitação no mercado (Vignote e Jiménez, 1996).

As propriedades, como flexão estática e ligação interna (LI), são afetadas significativamente com as variações dos elementos dimensionais das partículas. As outras variáveis do processo, como tipo e quantidade de resinas, aditivos químicos, umidade das partículas e ciclo de prensagem, devem ser controladas para assegurar a qualidade requerida de acordo com as exigências das normas (Iwakiri, 2003).

Moslemi (1974) comenta que a resistência ao arrancamento de parafusos (AP) aumenta em chapas de maior densidade e com nível mais elevado de adesivo. O autor comenta também que, com o uso de partículas longas e finas e o emprego de uma mesma quantidade de adesivo, o valor de ligação interna é menor quando comparada às chapas feitas com partículas curtas e espessas.

Para a espécie *Pinus sp.*, Albuquerque (2002), baseando-se em testes mecânicos [módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática e LI], verificou que 4 minutos foi o tempo total, em valores médios, para se atingir uma consolidação efetiva nos painéis de partículas grossas. O mesmo autor comenta que, na obtenção das partículas para a produção de aglomerados, normalmente, emprega-se picadores de partículas, e esse procedimento promove, de forma considerável, a destruição na estrutura da madeira, como quebra de parênquima, fibras libriformes e traqueídeos.

A densidade da chapa está intimamente associada à densidade das madeiras empregadas na sua fabricação e à taxa de compressão necessária para a sua compactação. Essa é a variável que mais afeta as

propriedades de resistência dos produtos formados (Hillig, 2000). Moslemi (1974) observou que painéis produzidos com espécies de baixa densidade geralmente apresentaram maior resistência à flexão e à tração, do que painéis obtidos de espécies de alta densidade, para chapas de igual densidade.

Segundo Roque (1998), em geral, a densidade da madeira empregada na produção de chapas situa-se entre 0,4 e 0,6 g/cm<sup>3</sup>, e a densidade das chapas produzidas varia de 5 a 40% a mais do que a madeira usada na sua confecção.

Ginzel e Peraza (1966) afirmam que, na fabricação de chapas aglomeradas de madeira, a cola tem uma importância extraordinária em razão do seu elevado preço, quando comparado com o da madeira.

Quanto às características do adesivo utilizado, os autores comentam que as fábricas de chapas de partículas trabalham normalmente com cola em forma de emulsão, com um conteúdo sólido de 50 a 65%.

A resina de uréia é notavelmente versátil, usada para unir elementos de madeira, e consideravelmente menos custosa que as resinas fenólicas ou resorcinólicas. Ela pode ser formulada para curar a temperaturas elevadas, entre 50 e 150°C (Marra, 1992; Haselein e Pauleski, 2003; USDA, 1999; Vignote e Jiménez, 1996). Os produtos fabricados com a resina de UF são projetados para aplicações em interiores. A cor clara dessa resina a torna totalmente satisfatória para a fabricação de produtos decorativos (USDA, 1999).

Segundo FAO (1968), a cera de parafina e outras substâncias hidrófobas análogas são utilizadas em forma de emulsão misturando-se com as resinas, ou pulverizadas, separadamente. Outros elementos aditivos que podem ser considerados são os inseticidas, os fungicidas e as substâncias químicas retardantes de fogo. O pentaclorofenol e as substâncias químicas para proteção contra insetos e fungos podem ser utilizados, bem como o bórax, que pode ser incorporado à mistura para retardar o fogo (Akers, 1966; Roque, 1998; USDA, 1999).

Segundo Pizzi (1994), os catalisadores empregados para a cura do adesivo são normalmente sais de amônia, como o cloreto de amônia e o sulfato de amônia, os quais são usados em soluções aquosas com concentrações que variam de 15 a 20%.

Características como pH e extrativos presentes na madeira poderão influenciar na cura da resina e, conseqüentemente, na qualidade das chapas produzidas (Marra, 1992).

Baseado no peso seco de resina sólida e no peso seco das partículas, o conteúdo de resina pode variar entre 4 e 10%, sendo normalmente entre 6 e 9% para resinas de UF. Além da resina, a parafina em forma de emulsão é somada para melhorar a resistência à umidade em curto prazo. A quantidade de parafina varia de 0,3 a 1%, baseada no peso seco das partículas (USDA, 1999).

Quanto ao efeito na aplicação de resina nas partículas, pode-se observar que, usando-se partículas de pinus, os valores numéricos de MOR, MOE e LI foram superiores na condição de percentagens maiores de 4% no teor de resina (Albuquerque 2002; Keinert e Matos 1987; Maciel 2001).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Fabricação das chapas**

A matéria-prima utilizada corresponde a resíduos de processamento mecânico de *Pinus elliottii* Engelm., obtidos por ocasião do desdobro na serraria e do beneficiamento na marcenaria da empresa Todesmade, situada no município de Cachoeira do Sul (RS).

Os resíduos de processamento da serraria, constituídos de costaneiras, serragem, casca, destopos e refilos, foram processados em um picador pela própria empresa. No momento da coleta, o resíduo estava constituído por cavacos, serragem e casca, numa proporção de 55,6, 22,7 e 21,7% respectivamente. Já as maravalhas, resultantes do beneficiamento, não foram reprocessadas. Posteriormente, todo o material foi transportado para o Laboratório de Produtos Florestais da UFSM. Os cavacos foram então reduzidos a partículas com o uso de um moinho de martelos e, da mesma forma que as maravalhas, foram colocados em estufa com ventilação forçada, a temperatura de 60°C, até atingirem um teor de umidade de aproximadamente 3%.

Após a secagem, foi realizada a remoção das partículas muito finas usando-se duas peneiras, uma com aberturas de 1,53 x 1,90 mm e outra de 3,3 x 2,6 mm, sendo aproveitados os resíduos que ficaram

retidos na primeira malha.

O adesivo empregado foi à base de uréia formaldeído. Para determinar o teor de sólidos da resina uréia-formaldeído e da parafina, aplicou-se o procedimento da norma ASTM D 4690-95a (1999).

Foram confeccionadas 54 chapas aglomeradas, com dimensões de 50 x 50 x 0,95 cm.

As variáveis de estudo para cada tratamento foram a proporção de cavaco ou maravalha utilizada (0, 50 e 100 %), a densidade da chapa (0,6 e 0,7 g/cm<sup>3</sup>) e o teor de adesivo (4, 8 e 12%).

A prensagem à quente foi realizada em prensa de laboratório marca OMECO, acionada por um pistão hidráulico com capacidade de 100 toneladas de aplicação de carga, e pratos com dimensões de 60 x 60 cm. A pressão específica aplicada foi de 30 kgf/cm<sup>2</sup>, e a temperatura dos pratos foi ajustada em 180°C. O tempo de fechamento da prensa foi de 40 segundos, e o tempo total de prensagem, aplicado para promover a evaporação da água e a cura do adesivo, foi de 8 minutos.

Depois da prensagem, as chapas foram identificadas, esquadrejadas e conduzidas à câmara climática para serem condicionadas à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%.

#### Testes mecânicos

As propriedades avaliadas pela norma norte-americana D-1037-93 (ASTM, 1995), foram as seguintes: flexão estática [MOR e MOE, arrancamento de parafusos (AP) e ligação interna (LI)].

Os ensaios mecânicos foram realizados em Máquina Universal de Ensaio, hidráulica, marca Amsler, com uma capacidade de 20 toneladas, pertencente ao Laboratório de Produtos Florestais da UFSM.

Os testes de flexão estática foram conduzidos em corpos de prova de 30 e 35 cm de comprimento e 7,5 cm de largura. O vão entre os apoios, de 22,8 cm foi de 24 vezes a espessura média dos corpos de prova. Para determinar o MOR e MOE, foi utilizado um software, desenvolvido para o teste de flexão, possibilitando a construção do gráfico carga x deformação.

Após a realização desses testes, foi determinado o teor de umidade (TU), obtido por meio da pesagem do corpo de prova e secagem em estufa a 103°C.

Para realizar o teste de AP, fez-se uso de corpos de prova de 15 x 7,5 cm, aproveitando as extremidades dos corpos de prova utilizados no teste de flexão. Para realizar o teste de LI, foram utilizados corpos de prova de 5 x 5 cm, com as faces coladas em blocos de aço. Foram medidas as dimensões da área de esforço e, no momento da ruptura, registrou-se a carga máxima. Posteriormente, os valores de LI foram calculados relacionando-se a carga máxima com a área de esforço, expressos em kgf/cm<sup>2</sup>.

#### Modelo experimental e análise dos resultados

O modelo experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, segundo um modelo trifatorial (3x3x2), no qual os tratamentos avaliados mostram as combinações empregadas para a confecção das chapas de partículas de cavacos e maravalha, com o adesivo e a densidade na Tabela 1.

De modo a facilitar os cálculos estatísticos, foram utilizados, no caso do material empregado, valores de 100, 50 e 0% para indicar a presença de resíduos de serraria em cada chapa. Desses percentuais, 100% indicam uma chapa feita só com esse material, 50% a mistura de resíduos de serraria e maravalha em partes iguais, e 0% a ausência de resíduos de serraria, o que significa que a chapa é feita só com maravalha.

Após a realização dos ensaios mecânicos, os resultados obtidos foram analisados pelo testes de correlação de médias e análise de regressão, relacionando-se os resultados dos testes com as variáveis do estudo, e adotando-se níveis de significância de 5% de probabilidade.

TABELA 1: Relação dos tratamentos aplicados no estudo dos painéis aglomerados, fabricados com resíduos de processamento.

TABLE 1: List of treatments used for the manufacturing of the particleboard, using wood processing residues.

Tratamento	Tipo de resíduo	Teor de adesivo (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
1	Cavacos	4	0,60
2	Cavacos	8	0,60
3	Cavacos	12	0,60
4	Cavacos	4	0,70
5	Cavacos	8	0,70
6	Cavacos	12	0,70
7	Maravalha	4	0,60
8	Maravalha	8	0,60
9	Maravalha	12	0,60
10	Maravalha	4	0,70
11	Maravalha	8	0,70
12	Maravalha	12	0,70
13	Cavacos e Maravalha	4	0,60
14	Cavacos e Maravalha	8	0,60
15	Cavacos e Maravalha	12	0,60
16	Cavacos e Maravalha	4	0,70
17	Cavacos e Maravalha	8	0,70
18	Cavacos e Maravalha	12	0,70

Em que: cavacos = denominação atribuída à mistura dos resíduos do desdobro da madeira; maravalha = denominação atribuída aos resíduos do beneficiamento da madeira

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resistência à flexão estática (MOR e MOE), ligação interna (LI) e arrancamento de parafusos (AP)

A norma de comercialização ANSI A 208.1 (USDA, 1999) das chapas de partículas de baixa e média densidade (menor que 0,59 e entre 0,59 e 0,8 g/cm<sup>3</sup> respectivamente) admite como valores mínimos requeridos 56 e 112 kgf/cm<sup>2</sup> para MOR e 10561 e 17602 kgf/cm<sup>2</sup> para MOE, 1,40 e 4,22 kgf/cm<sup>2</sup> para LI e 61 e 102 kgf para AP.

Os valores médios dos ensaios em flexão (MOR e MOE), LI e AP obtidos para as chapas estudadas, são apresentados na Tabela 2, em função da percentagem de material utilizado, teor de adesivo e densidade. Pode-se observar que os valores de MOR oscilam entre 51,63 e 99,16 kgf/cm<sup>2</sup>, e os de MOE, entre 5330 e 12071 kgf/cm<sup>2</sup>. Já para a LI e AP os valores oscilam entre 0,92 e 2,36 kgf/cm<sup>2</sup>, e entre 46 e 76 kgf respectivamente.

Nos ensaios de MOR e MOE observou-se que só alguns tratamentos superaram o valor mínimo requerido. Isso pode ser explicado, no caso do material cavaco, pela proporção de casca a qual influi na diminuição da resistência da superfície das chapas.

Singh *et al.* (1995) também constataram que os valores das propriedades mecânicas usando matéria-prima com casca de *Populus deltoides* foram bem inferiores, comparadas àquelas com matéria-prima sem casca.

Foi constatado neste estudo, da mesma forma que Albuquerque (2002), que os resíduos de serragem que passam pelo picador de partículas proporcionam, na estrutura final da chapa, vazios e rupturas, o que pode explicar a diminuição na resistência mecânica das chapas feitas com esse material.

Apesar da maravalha apresentar melhores resultados, ainda assim os valores são menores do que aqueles normalmente observados para chapas similares feitas de partículas obtidas de madeira roliça. Isso sugere uma deterioração ou enfraquecimento da madeira durante o processo de produção das maravalhas pelas plainas.

TABELA 2: Valores médios de MOR, MOE, LI e AP encontrados para os diferentes tratamentos.

TABLE 2: Average values of MOR, MOE, Internal Bond and Screw withdraw for the different treatments.

Trat.	Cavacos (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm <sup>3</sup> )	Do (g/cm <sup>3</sup> )	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	LI (kgf/cm <sup>2</sup> )	AP (kgf)
1	100	0	4	0,60	0,54	51,63	5330	1,37	47
2	100	0	8	0,60	0,58	65,65	6636	2,08	61
3	100	0	12	0,60	0,56	78,28	5999	1,77	61
4	100	0	4	0,70	0,65	86,78	6247	1,76	68
5	100	0	8	0,70	0,60	83,26	6690	1,89	57
6	100	0	12	0,70	0,60	89,68	6284	1,88	60
7	0	100	4	0,60	0,57	87,62	7665	0,92	47
8	0	100	8	0,60	0,57	91,99	10711	2,07	55
9	0	100	12	0,60	0,59	70,13	10786	2,26	62
10	0	100	4	0,70	0,65	62,88	10428	0,92	63
11	0	100	8	0,70	0,65	96,11	11826	1,65	75
12	0	100	12	0,70	0,66	75,06	12071	2,16	76
13	50	50	4	0,60	0,56	71,62	5888	0,93	50
14	50	50	8	0,60	0,57	81,87	7147	1,18	46
15	50	50	12	0,60	0,59	95,17	10728	2,29	68
16	50	50	4	0,70	0,64	65,43	8528	1,02	60
17	50	50	8	0,70	0,66	76,52	7709	1,99	74
18	50	50	12	0,70	0,64	99,16	11797	2,36	70

Em que: Trat. = tratamentos; Ta = teor de adesivo (%); Dn = densidade nominal (g/cm<sup>3</sup>); Do = densidade observada (g/cm<sup>3</sup>); MOR = módulo de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>); MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>); LI = ligação interna (kgf/cm<sup>2</sup>); AP = resistência ao arrancamento de parafusos (kgf)

A correlação entre as propriedades de flexão estática das chapas, definidas pelo MOR e o MOE, e as variáveis independentes analisadas (proporção de cavacos, teor de adesivos, densidade observada) é apresentada na Tabela 3. A correlação de Pearson evidencia que o MOR e o MOE apresentaram valores significativos para todas as variáveis independentes analisadas. Os valores de correlação explicam que quando diminui a proporção de cavacos, aumentando-se a proporção de adesivo e densidade, eleva-se o valor do MOR e do MOE.

TABELA 3: Correlação de Pearson entre as propriedades de flexão estática e as variáveis de fabricação das chapas.

TABLE 3: Pearson correlations between the bending properties and the manufacturing parameters.

	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	Proporção de cavacos (%)	Teor de Adesivo (%)	Densidade Observada (g/cm <sup>3</sup> )
MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	1				
MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,56758(**)	1			
Proporção de cavacos (%)	-0,41453(**)	-0,55529(**)			
Teor de Adesivo (%)	0,19883(*)	0,30909(**)	0	1	
Densidade observada (g/cm <sup>3</sup> )	0,27988(**)	0,44899(**)	-0,14379 ns	0,12942 ns	1

Em que: \*correlação significativa a 5 %; \*\* correlação significativa a 1%; ns = correlação não-significativa.

Por isso, quando foram usadas maravalhas e, em segundo lugar, a mistura de cavacos-maravalha, à medida que aumentavam a densidade e o teor de adesivo, o MOR e o MOE aumentavam também.

Com respeito ao uso de maravalhas de *Pinus sp.*, Brito (1995) observou também que o MOR e o

MOE apresentaram bons resultados.

Haselein (1989), Hillig (2000) e Albuquerque (2002) observaram também que um aumento na densidade do painel resulta em um aumento no MOR e no MOE.

Independentemente do tipo de material, considerando-se o teor de adesivo, observou-se que valores baixos em flexão estática foram obtidos usando-se 4% de adesivo, e valores mais altos com 8 e 12%, resultados esses também encontrados por Brito (1984), Albuquerque (2002) e Keinert Jr. & Matos (1987).

Considerando todos os valores obtidos, o ajuste do modelo de MOR e MOE, em função da proporção de cavacos, adesivo e densidade, passa a ser significativo, confirmando a influência da densidade sobre as outras variáveis (valor de P no modelo menor do que 0,01).

Os modelos de regressão ajustados em função da densidade para os valores de MOR e MOE são mostrados, respectivamente, nas Figuras 1 e 2. Os coeficientes e equações resultantes desse ajuste para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação encontram-se na Tabela 4.

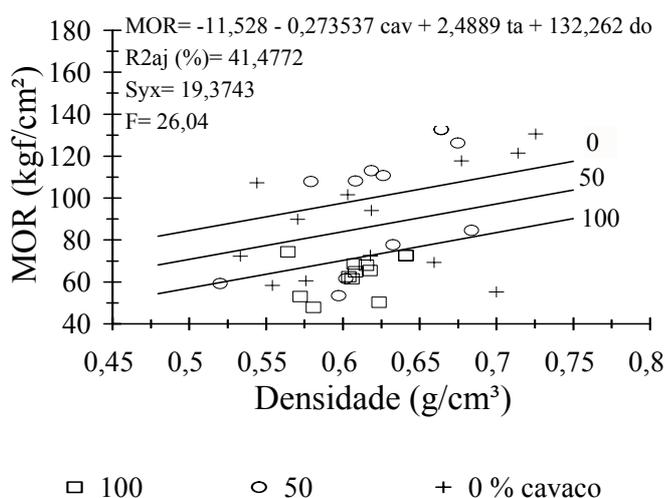


FIGURA 1: Valores de MOR, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de cavacos (cav) e teor de adesivo (ta) igual a 12%.

FIGURE 1: MOR observed and fitted as a function of board density, chip proportion and adhesive content of 12%.

TABELA 4. Equações ajustadas para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação.

TABLE 4. Fitted equations for the properties of the board as a function of manufacturing variables.

Propriedade	Equação ajustada	F	Syx	R <sup>2</sup> aj. (%)	DU
MOR	-11,528 - 0,273537 cav + 2,4889 ta + 132,262 do	26,04	19,37	41,47	1,94
MOE	-4415,59 - 39,8154 cav + 20922,8 do + 263,051 ta	44,17	2074,09	54,07	1,82
LI	-0,526428 + 0,12026 ta + 2,11051 do	29,15	0,88	17,68	1,61
AP	-41,3043 + 1,01959 ta + 154,463 do	30,27	12,00	36,69	1,85

Em que: Ta = teor de adesivo (%); Do = densidade observada (g/cm<sup>3</sup>); Cav = proporção de cavacos; MOR = módulo de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>); MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>); LI = ligação interna (kgf/cm<sup>2</sup>); AP = resistência ao arrancamento de parafusos (kgf); F = teste de F; Syx = erro-padrão da estimativa; R<sup>2</sup>aj. = coeficiente de determinação; DU = teste de Durbin-Watson.

No ensaio de ligação interna foi observado que esta aumenta com o uso de adesivo em proporção de 12%, independentemente do tipo de resíduo. Brito (1984) e Maciel (2001) observaram também que a resistência à tração perpendicular foi influenciada positivamente pela maior quantidade de adesivo empregada.

Foi constatado, da mesma forma que Hillig (2000), que um aumento na densidade eleva o valor da ligação interna.

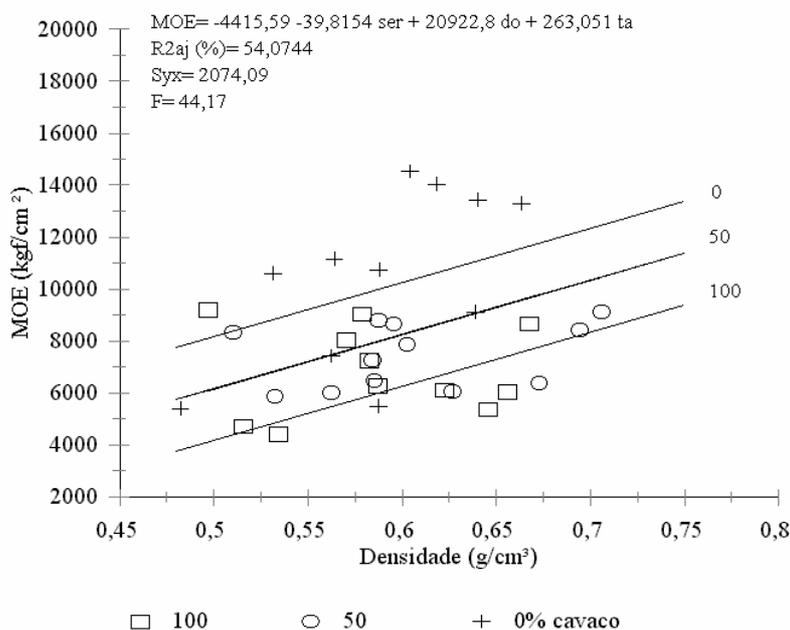


FIGURA 2: Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de cavacos (cav) e teor de adesivo (ta) igual a 12%.

FIGURE 2: MOE observed and fitted as a function of board density, chip proportion and adhesive content of 12%.

Observando os valores de correlação indicados na Tabela 5, verifica-se que a ligação interna ou resistência à tração apresentou valores significativos para as variáveis independentes teor de adesivo e densidade observada, e um valor não-significativo para proporção de cavacos. A correlação indica que, quando se aumenta o teor de adesivo e a densidade, ocorre um aumento da ligação interna.

TABELA 5: Correlação de Pearson entre as propriedades de ligação interna e as variáveis de fabricação das chapas.

TABLE 5: Pearson correlations between the internal bond properties and the manufacturing parameters.

	Ligação interna (kgf/cm <sup>2</sup> )	Proporção de cavacos (%)	Teor de Adesivo (%)	Densidade Observada (g/cm <sup>3</sup> )
Ligação interna (kgf/cm <sup>2</sup> )	1			
Proporção de cavacos (%)	0,04758 ns	1		
Teor de Adesivo (%)	0,34666(**)	0,00561 ns	1	
Densidade Observada (g/cm <sup>3</sup> )	0,12551(*)	-0,22257(**)	0,02288 ns	1

Em que: \*correlação significativa a 5%; \*\*correlação significativa a 1%; ns = correlação não-significativa.

O melhor modelo de regressão linear ajustado inclui o teor de adesivo e a densidade (valor de P menor que 0,01), e, o coeficiente de determinação de 17,70% sugere que apenas parte da LI é explicada pelo modelo.

O modelo de regressão para LI é mostrado na Figura 3 com valores respectivamente ajustados em função da densidade, para as três proporções de adesivo, e mantendo fixa a percentagem de cavacos cujos coeficientes e precisões se encontram na Tabela 4.

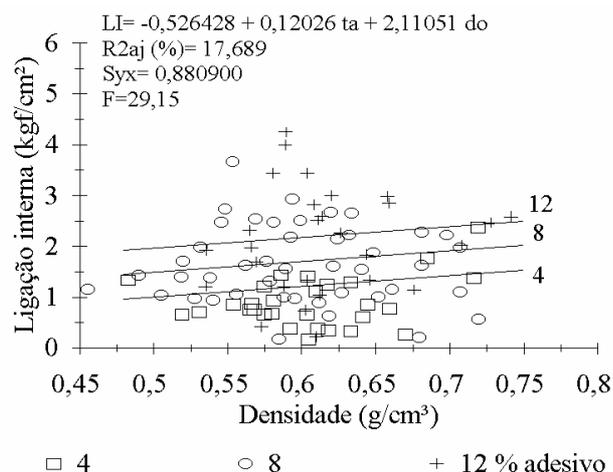


FIGURA 3: Valores de ligação interna observados e ajustados em função da densidade (do) e da proporção de adesivo (ta), para 0% de cavacos (cav).

FIGURE 3: Internal bond observed and fitted as a function of board density, and adhesive content of 4, 8 and 12%.

No teste de arrancamento de parafusos, foi observado que, com o aumento da densidade, esta propriedade apresentou uma maior resistência.

Da mesma forma, aumentando o teor de adesivo, a resistência das chapas aumenta. A mesma tendência também foi observada por Brito (1984) e Maciel (2001).

Maciel (2001) comenta que a resistência ao arrancamento de parafusos, em chapas de *Pinus* coladas com adesivo à base de uréia formaldeído, apresenta valores baixos comparados com outros tipos de chapas.

O tipo de resíduo não influenciou na resistência ao arrancamento de parafuso, conforme pode ser visto pelo modelo de regressão ajustado.

Os valores de correlação entre a propriedade de resistência ao arrancamento de parafusos da chapa e as variáveis analisadas observados na Tabela 6, explica que, nessa propriedade se apresenta valores significativos para as variáveis independentes teor de adesivo e densidade e um valor não-significativo para proporção de cavacos.

A correlação indica que, quando aumenta o teor de adesivo e a densidade, ocorre um aumento na resistência no arrancamento de parafusos, sendo observado que o melhor modelo de regressão linear para esta propriedade inclui ambas variáveis (valor de P menor que 0,01).

A Figura 4 mostra o gráfico com o modelo de regressão para AP, com valores respectivamente ajustados em função da densidade, para as três proporções de adesivo cujos coeficientes e precisões se encontram na Tabela 4.

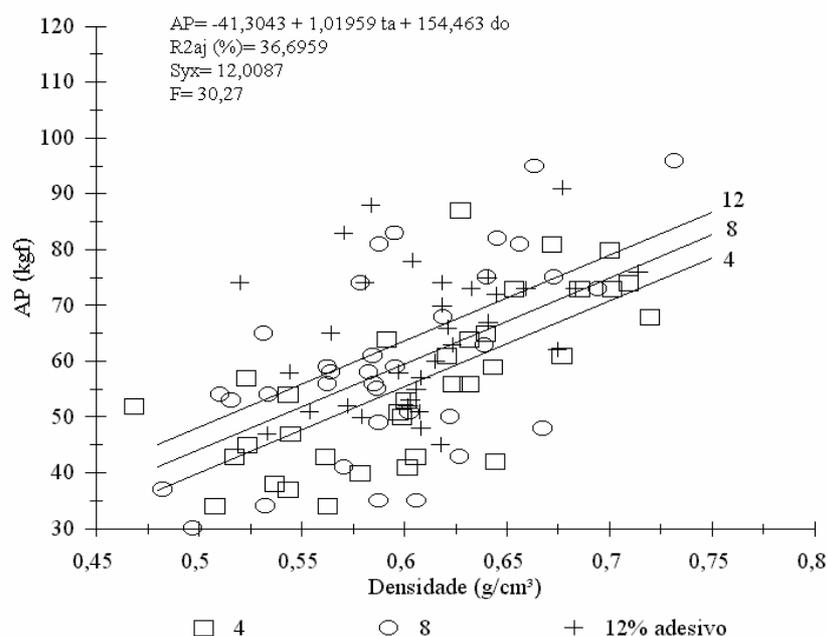


FIGURA 4: Valores de resistência ao arrancamento de parafusos observados e ajustados em função da densidade (do) e da proporção de adesivo de 4 a 12%.

FIGURE 4: Screw withdraw properties observed and adjusted according to board density and three adhesive content levels.

TABELA 6: Correlação de Pearson entre as propriedades de arrancamento de parafusos e as variáveis de fabricação das chapas.

TABLE 6: Pearson correlations between the screw withdraw properties and the board manufacturing parameters.

	AP (kgf)	Proporção de cavacos (%)	Teor de Adesivo (%)	Densidade Observada (g/cm <sup>3</sup> )
AP (kgf)	1			
Proporção de cavacos (%)	-0,09799 ns	1		
Teor de Adesivo (%)	0,25679 (**)	0 ns	1	
Densidade Observada (g/cm <sup>3</sup> )	0,59795 (**)	-0,15045 ns	0,12422 ns	1

Em que: \*correlação significativa a 5%; \*\* correlação significativa a 1%; ns = correlação não-significativa.

## CONCLUSÕES

O processo de redução do resíduo de serraria no moinho de martelo gerou um material de qualidade inferior, com partículas de dimensões variáveis e pouco resistentes, quando comparadas com aquelas geradas diretamente de toretes, as quais podem ser obtidas com dimensões definidas.

Outro fator que influenciou na diminuição de resistência das propriedades estudadas provavelmente foi a presença de casca por ser esta um material pouco resistente e considerado como o principal entrave na utilização dos resíduos do processamento mecânico da madeira gerados por serrarias de pequeno e médio porte, que não realizam a operação de descascamento das toras na fabricação de painéis aglomerados.

Os valores médios encontrados para o MOR atingiram aqueles exigidos pelos padrões de qualidade internacional em tratamentos de baixa densidade, e no caso do MOE, só alguns tratamentos atingiram os valores desejáveis. No entanto, quando as chapas foram confeccionadas com maravalha, com maiores

densidades, e teor de adesivo entre 8 e 12%, os valores das propriedades aumentaram.

A variável que mais influenciou no MOR e MOE foi a densidade da chapa, seguida do teor de adesivo e da proporção e tipo de material.

Considerando os três parâmetros de fabricação estudados, apenas as chapas correspondentes ao tratamento 9 (proporção de maravalha 100%, teor de adesivo 12%, densidade 0,6 g/cm<sup>3</sup>) estão de acordo com as exigências das normas de comercialização.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem às empresas Todesmade de Cachoeira do Sul-RS, Synteko de Gravataí-RS, pelo fornecimento das partículas de madeira e do adesivo, respectivamente.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AKERS, L.E. **Particle board and hardboard**. Great Britain: Baleckie & Son, 1966. v. 4.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. de. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2002.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials, D 1037-93**. Philadelphia, PA., 1995.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for urea-formaldehyde resin adhesives, D 4690-95a**. Philadelphia, PA., 1999.
- BRAND, M. A. *et al.* Qualificação dos resíduos madeiráveis gerados nas indústrias de base florestal na região de Lages – SC. In: In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2. e SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS, 1., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 116p.
- BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais waferboard**. 1984. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.
- BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* plantado no Sul de Brasil**. 1995. 123p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación). **Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera**. Roma, 1968. 250p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación). **Actas de la consulta mundial sobre paneles a base de madera**. Roma, 1975. 245p.
- GALVÃO A. P.; MENDES. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Brasília: Embrapa. 2000. 351p.
- GINZEL, W.; PERAZA, C. **Tecnología de tableros de partículas**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187p.
- HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e embaúva (*Cecropia sp.*)** 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.
- HASELEIN, C. R. *et al.* Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v.12, n.2. p.127-134, 2002.
- HASELEIN, C. R.; PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira II: parte I**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2003. 82p.
- HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino- formaldeído**. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

- IWAKIRI, S., et al. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.7, n.1, p. 251-256, 2000.
- IWAKIRI S. Painéis de madeira: características tecnológicas e aplicação. **Revista da Madeira**, Curitiba, p. 4-10, maio, 2003. Edição especial.
- KEINERT JR., S.; MATOS, J.L.M. Utilização de *Pinus pinaster* para a fabricação de chapas de partículas. **Floresta**, v.17, n.1 / 2., p.113-120, 1987.
- KEINERT JR., S. Atualidades e perspectivas da utilização da madeira de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.* para produção de painéis no Brasil e no exterior. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade de Investigações Florestais, 1993. p. 227-239.
- MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato.** 2001, 115p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 457p.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard.** Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 244 p., 2v.
- PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology.** New York: Marcel Dekker, 1994. 370p.
- ROQUE, C. A. L. **Painéis de madeira aglomerada SET 805.doc- [www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br),** 1998. 22p.
- SINGH, S. P.; SINGH, J. P.; RAWAT, S. S. Particleboard from *Populus deltoides*. **Journal of the Timber Development Association of India.** v. 41, n. 4, p. 17-21, 1995.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE **Wood Handbook: wood as an engineering material.** Washington: U. S. Government Printing Office, 1999. 466p.
- VIGNOTE P., S.; JIMÉNEZ P. F. J. **Tecnología de la madera.** Madrid : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996. 602p.