

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CHAPAS AGLOMERADAS ESTRUTURAIS FABRICADAS COM MADEIRAS DE PINUS, EUCALIPTO E ACÁCIA-NEGRA<sup>1</sup>****MECHANICAL PROPERTIES OF FLAKEBOARD MADE FROM PINE, EUCALYPTS AND WATTLE WOOD<sup>1</sup>**Éverton Hillig<sup>2</sup> Clovis Roberto Haselein<sup>3</sup> Elio José Santini<sup>4</sup>**RESUMO**

Neste trabalho, foram analisadas as propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e *Acacia mearnsii* De Wild. Buscou-se segregar os efeitos da densidade básica da madeira, instalando-se um experimento no delineamento blocos ao acaso em que taxas de compressão de 1,21, 1,32 e 1,43 constituíram os blocos. Quinze tratamentos onde cada espécie participou com 0, 25, 50, 75 ou 100% de proporção em peso seco, foram utilizados para fabricação de chapas aglomeradas estruturais, com partículas de dimensões médias de 90 x 20 x 0,6 mm e coladas com 8% de adesivo à base de tanino-formaldeído. As análises foram realizadas por meio da correlação e ajuste de modelos matemáticos, obtidos por regressão linear simples ou múltipla, entre as variáveis de produção e a proporção de cada espécie na mistura. Os valores obtidos para MOR e MOE ficaram acima dos padrões de qualidade internacionais, no entanto, as chapas apresentaram baixos valores de ligação interna demonstrando baixa qualidade de colagem. Como conclusão geral, a mistura de espécies foi mais vantajosa que a utilização de cada espécie individualmente, principalmente em razão da influência das diferentes densidades básicas de cada madeira sobre as propriedades das chapas. A melhor mistura, porém, tem de ser determinada em razão do uso do produto final e da disponibilidade de matéria-prima.

**Palavras-chave:** aglomerados estruturais, mistura de espécies, tanino-formaldeído.

**ABSTRACT**

In this work the mechanical properties of flakeboard, made with pine (*Pinus elliottii* Engelm), eucalypts (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) and wattle (*Acacia mearnsii* De Wild) wood particles, were analysed. To segregate the wood specific gravity effects, three-replication blocks, with 1.21, 1.32 and 1.43 compression ratios were installed. Flakeboard of fifteen mixtures, where each specie participated with 0, 25, 50, 75 and 100% of the oven-dry weight proportion, were manufactured with particles of 90 x 20 x 0.6 mm average size and 8 percent resin solids content. The analysis were made by means of correlation and adjusted mathematical models, obtained using simple or multiple regression, between the production variables and the proportion of each specie in the mixture. The results found for modulus of rupture and elasticity were above the international standards; however, the flakeboard showed lower values of internal bond, demonstrating lower bond quality. As a general conclusion, the use of mixed wood species had advantage over that of single wood species, mainly because of the distinct wood specific gravity. The best mixture, however, can be established considering the purposes of the final product and the raw material availability.

**Key words:** flakeboard, mixture of species, tannin-formaldehyde.

**INTRODUÇÃO**

Chapas aglomeradas estruturais são largamente utilizadas na construção civil em países norte-

1. Parte integrante da dissertação apresentada pelo 1º autor no Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da UFSM. Projeto parcialmente financiado com recursos da FAPERGS.
2. Engenheiro Florestal, Msc, Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exatas e da Natureza, Campus Universitário da Região dos Vinhedos, Universidade de Caxias do Sul, CEP 95700-000, Bento Gonçalves, (RS).
3. Engenheiro Florestal, PhD., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).
4. 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).

-americanos, principalmente nos Estados Unidos da América. Este tipo de painel caracteriza-se por utilizar partículas maiores que o aglomerado convencional conseguindo, dessa forma, maior resistência mecânica. Embora não haja tradução literal para os tipos de chapas estruturais existentes, basicamente as mais comuns são: “*waferboard*”, “*flakeboard*” e “*oriented strand board*” (*OSB*). *Wafer* e *Flake* são partículas com comprimento e espessura controlados, sendo que as partículas *wafer* tem maiores dimensões que as partículas tipo *flake*. Por outro lado, partículas *strand* são produzidas com comprimento, espessura e largura controladas, buscando-se o formato retangular. Chapas *OSB*, por sua vez, recebem esse nome por apresentarem partículas orientadas em um mesmo sentido.

No Brasil são poucas as indústrias instaladas para produção de chapas aglomeradas estruturais, sendo que 90% da produção de aglomerados é consumida pela indústria moveleira (Macedo, 1998). Existe, no entanto, a previsão de que a primeira fábrica de *OSB* entre em operação em breve. A importância desse tipo de chapa reside na possibilidade de substituição da madeira maciça e do compensado os quais necessitam melhor qualidade de matéria-prima. Chapas aglomeradas podem ser fabricadas valendo-se de toras de pequeno diâmetro, resíduos e de madeira com menor densidade.

Por outro lado, a partir da década de 60 foram implantadas, no estado do Rio Grande do Sul, florestas homogêneas, de rápido crescimento, com espécies exóticas, principalmente dos gêneros pinus e eucalipto. Estas, muitas vezes, sem um planejamento adequado para o uso final, especialmente para o caso dos pinus, constituem-se hoje matéria-prima potencial para produção de aglomerados. A necessidade de aproveitamento da madeira de acácia, subproduto na sua região de plantio, também pode proporcionar sua utilização para essa indústria.

Com relação aos adesivos utilizados em aglomerados, principalmente a base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, sente-se a influência da oscilação dos preços do petróleo e a fragilidade dos produtos sintéticos advindos de fontes de matéria-prima não-renováveis. Assim, a utilização de resinas à base de extratos de casca de espécies florestais têm sido alvo de inúmeras investigações. O tanino de acácia negra, porém, ainda parece ser o mais promissor. Além disso, essa resina já é utilizada na indústria de aglomerados no Brasil e na África. No estado do Rio Grande do Sul, também são produzidas e utilizadas resinas à base de tanino-formaldeído para a produção de aglomerados.

Tendo em vista tais fatores, realizou-se este estudo com objetivo de avaliar as propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com espécies puras ou misturadas, por meio do ajuste de modelos matemáticos dessas propriedades em função das variáveis de produção e da proporção de cada espécie na mistura.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Qualidade da madeira como matéria-prima para chapas aglomeradas

Segundo Roque (1998), qualquer espécie de madeira, ou mesmo outras fontes de fibras, como bagaço de cana ou casca de arroz, podem ser usadas para fabricação de aglomerados. A qualidade do produto final, no entanto, limita o campo de escolha.

A indústria de painéis aglomerados surgiu na Europa, após a Segunda Guerra Mundial, com finalidade de aproveitamento dos resíduos industriais e das serrarias. No Brasil, no entanto, são utilizados preferencialmente cavacos de madeira de florestas plantadas, o que determina, inclusive, uma melhor qualidade do produto, tendo em vista o melhor controle de homogeneidade da matéria-prima.

Muitos são os fatores que contribuem para a qualidade do produto final, no processo de produção de painéis. Dentre estes, no entanto, a densidade da madeira é uma das variáveis mais importante em relação à matéria-prima (Brown *et al.*, 1952; Moslemi, 1974). Basicamente, madeira leve produz chapas mais resistentes para uma mesma densidade da chapa, porém obriga a maiores custos de transporte e armazenamento.

Em geral, a densidade da madeira empregada para produção de chapas situa-se entre 0,4 e 0,6 g/cm<sup>3</sup> e a densidade das chapas produzidas é de 5 a 40% maior do que a da madeira usada na sua confecção. Mitlin (1968) afirma que as partículas de madeira devem ser comprimidas de tal forma que se obtenha uma

densidade da chapa ao menos 5% maior que a densidade da madeira que lhe deu origem, para conseguir propriedades mínimas aceitáveis.

Moslemi (1974) observou que painéis produzidos com espécies de baixa densidade geralmente apresentaram maior resistência à flexão e à tração, melhor módulo de elasticidade e melhor ligação interna do que painéis obtidos de espécies de alta densidade, para chapas de igual densidade. Assim, a escolha do tipo de madeira é função do uso final do produto ou vice-versa.

Segundo Lynam (1959), a densidade da madeira tem influência no volume de matéria-prima para produção das chapas e também no consumo de adesivo. Painéis de mesma densidade podem ser feitos com menor volume de madeira pesada do que de madeira leve, em razão de permitirem menor compressibilidade. Já em relação ao consumo de adesivo, a situação é um pouco mais complexa. Madeira de alta densidade produz menor área de partículas, diminuindo a quantidade aplicada de adesivo, porém, tem-se também menor área de contato entre as partículas, em razão do menor número destas para um mesmo peso, o que conduz à formação de chapas com baixa resistência mecânica. Assim, deve-se aumentar a densidade da chapa ou a quantidade aplicada de adesivo. No primeiro caso, teremos chapas muito pesadas para mesmo volume e, no segundo, não teremos a esperada economia de adesivo.

Em conseqüência desses fatores relacionados com a densidade da madeira, é que vários pesquisadores têm realizado estudos com misturas de espécies de diferentes densidades, procurando obter uma mistura que proporcione melhores propriedades físicas e mecânicas às chapas.

Vital (1973), estudando a produção de painéis aglomerados, com base em quatro espécies de madeira, *Paulownia tomentosa* (densidade básica de 0,28 g/cm<sup>3</sup>), *Virola* sp. (0,43 g/cm<sup>3</sup>), *Pericopsis elata* (0,55 g/cm<sup>3</sup>) e *Terminalia superba* (0,57 g/cm<sup>3</sup>), empregadas puras ou misturadas, obteve resultados que mostraram ser possível a mistura de espécies com grande variação em densidade para produção de painéis com propriedades aceitáveis.

Conforme Haselein (1989), na produção de aglomerados tomando por base a mistura de *Eucalyptus grandis* e *Cecropia* sp., as chapas feitas com 50% de cada espécie apresentaram, em geral, melhores propriedades mecânicas do que com cada espécie utilizada isoladamente.

Usando uma mistura de 36 espécies tropicais, Nakamura e Sobral Filho (1982) mostraram que a matéria-prima proveniente da combinação de um número elevado de espécies da Amazônia foi adequada para produção de chapas aglomeradas.

De acordo com Iwakiri *et al.* (1995), na mistura de diferentes proporções de *Pinus elliottii* (0,42 g/cm<sup>3</sup> de densidade básica) e *Mimosa scabrella* (0,56 g/cm<sup>3</sup>), a combinação de 50% de cada espécie produziu chapas melhores, considerando a avaliação global dos resultados médios de todas as propriedades estudadas.

### **Adesivos de tanino-formaldeído**

Conforme Akers (1966), os adesivos não são menos importantes, na produção de chapas aglomeradas que a madeira ou outra fonte de matéria-prima. Além disso, o custo dos adesivos atualmente é maior que a própria madeira, influenciando mais os custos de produção.

Assim, a escolha do tipo certo de adesivo e as quantidades aplicadas é de fundamental importância no processo de produção de painéis. Wilson e Kraemer (1976) salientaram a importância da correta aplicação do adesivo, em termos de quantidade aplicada e da distribuição uniforme sobre e entre as partículas.

Com relação aos adesivos à base de tanino, tem-se que ressaltar sua importância em razão de existirem duas fábricas desse produto no estado do Rio Grande do Sul. O tanino, fabricado para curtimento de couro, tem mercado dirigido e, além do Rio Grande do Sul, só existem fábricas de importância econômica na África.

Autores como, por exemplo, Pizzi *et al.* (1982) e George *et al.* (1976) expuseram que o tanino-formaldeído apresenta propriedades similares ao fenol-formaldeído e é utilizado industrialmente na África do Sul e na Nova Zelândia. Também, é utilizado no estado do Rio Grande do Sul, para produção de

aglomerados resistentes à umidade.

Conforme Nock e Richter (1978), a primeira patente requerida para fabricação de adesivos à base de tanino data de 1914. No entanto, as primeiras tentativas foram insatisfatórias e os estudos desses adesivos foram abandonados. Somente a partir da década de 1950 é que as pesquisas foram renovadas em várias partes do mundo.

Dentre as espécies estudadas, as acácias têm-se mostrado mais promissoras e, em especial, a *Acacia mearnsii*, que, sem dúvida, tem sido a mais utilizada. Pizzi *et al.* (1982) fizeram uma revisão dos estudos realizados nos 10 anos anteriores, no Sul da África, sobre a produção de adesivos de taninos retirados dessa espécie e sua aplicação em chapas aglomeradas, compensados, laminados e painéis colados tipo *finger* (junta de dedos).

De um modo geral, os adesivos à base de tanino têm boa resistência à água e são mais baratos que as colas à base de fenol. Pode-se, de maneira geral, dizer que o tanino-formaldeído está em uma posição intermediária entre as colas uréicas e fenólicas, tanto na questão do custo como na resistência à água. Alguns autores, como Anderson (1977), chegaram a concluir que resinas à base de fenol e de fenol/resorcinol podem ser substituídas por extratos de casca de determinadas espécies florestais.

Não obstante, alguns problemas são encontrados para o uso de adesivos tanino-formaldeído na fabricação de aglomerados. Santana *et al.* (1979) e Santana e Pastore Junior (1980), referiram-se à alta viscosidade das soluções de tanino que pode, no entanto, ser facilmente corrigido por um pré-tratamento alcalino (refluxo) do extrato. Os maiores problemas parecem ser a alta umidade requerida para a manta de partículas e a alta proporção de adesivo. Tem-se pouca informação sobre esse assunto, porém, no trabalho realizado por Santana e Pastore Junior, a porcentagem utilizada de adesivo foi de 12% de sólidos resinosos calculados sobre o peso de partículas a 3% de umidade e a umidade do colchão estabelecida em 20%.

George *et al.* (1976) realizaram testes em chapas fabricadas com adesivo à base de tanino de *Acacia molissima*, (sinonímia de *Acacia mearnsii*) usando 8 a 10% de teor de adesivo. Os testes mostraram boas propriedades de resistência mecânica das chapas e muito maior resistência à imersão em água fervente do que painéis colados com uréia-formaldeído.

### **Parâmetros técnicos de produção**

#### *Taxa de compressão e densidade da chapa*

A taxa de compressão é a razão entre a densidade da chapa e a densidade da madeira e, para painéis comerciais, seu valor é sempre maior que um. Isto porque durante a prensagem torna-se necessário comprimir as partículas de forma a produzir boa união com mínimo adesivo e também reduzir os espaços interiores e as irregularidades da superfície do painel (Vital, 1973).

Em geral, todas as propriedades físico-mecânicas das chapas, em maior ou menor grau, são afetadas pela taxa de compressão. De uma maneira sucinta, pode-se ressaltar que taxas de compressão muito baixas não produzem bom contato entre as partículas, prejudicando a colagem e a resistência da chapa. Em contrapartida, chapas feitas sob altas taxas de compressão necessitam maior força de prensagem, ocasionando problemas com relação à liberação da água evaporada no momento da prensagem e também um consumo excessivo de matéria-prima. Além disso, causam a produção de chapas de alta densidade o que, muitas vezes, torna o painel muito pesado.

A densidade do painel está relacionada com a densidade da madeira e a taxa de compressão. Depende também da umidade do colchão e outros fatores. Assim como a densidade da madeira, a densidade da chapa tem grande influência sobre as suas propriedades mecânicas, influenciando praticamente todas. Geralmente, na fabricação de chapas, a densidade do painel está entre 0,4 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

Um aumento da densidade do painel, em geral, provoca aumento da resistência à flexão e da resistência à tração. Muitos pesquisadores, como Kollmann *et al.* (1975) e Haselein (1989), têm encontrado uma relação linear e positiva entre a densidade da chapa e as propriedades de resistência à flexão (módulos de ruptura e de elasticidade).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Fabricação das chapas

Foram abatidas seis árvores: duas de cada espécie, escolhidas ao acaso, de experimentos existentes no campus da Universidade Federal de Santa Maria. A idade dos plantios à época do corte era de 15, 10 e 10 anos para pinus (*Pinus elliottii* Engelm), eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) e acácia (*Acacia mearnsii* De Wild), respectivamente.

Determinaram-se as densidades básicas de cada espécie, conforme sugerido na norma D 143 – 94 (ASTM, 1995). Os valores médios encontrados foram: 0,47, 0,43 e 0,64 g/cm<sup>3</sup> para pinus, eucalipto e acácia respectivamente. No Laboratório de Produtos Florestais foram geradas partículas com dimensões médias de 90 x 20 x 0,6 mm que foram secas até teor de umidade de, aproximadamente, 3% antes da aplicação do adesivo.

Para formulação do adesivo, foi utilizada uma solução de tanino com teor de sólidos de 39%. Inicialmente, fez-se a correção do pH da solução, ajustando-o para 8. Para obtenção do adesivo de tanino-formaldeído ao tanino, foi adicionada formalina, no momento da aplicação, na proporção de 10% de sólidos de formol sobre sólidos da solução. O teor de sólidos da formalina utilizada foi de 37 ou 40%, dependendo da disponibilidade no mercado local quando da utilização.

Na prensagem, aplicou-se pressão específica de 35 kgf/cm<sup>2</sup> e ajustou-se a temperatura dos pratos da prensa em 180° C. O tempo total de prensagem foi o necessário para perfeita evaporação d'água, fixado em 10 ou 20 minutos. Essa variação, no tempo de prensagem, foi necessária porque as chapas mais pesadas e prensadas a altos teores de umidade estouraram, quando da abertura da prensa aos 10 minutos, e tiveram sua estrutura comprometida. Assim, para que se viabilizasse a confecção dessas chapas em perfeito estado fixou-se um tempo de 20 minutos para a prensagem.

Confeccionaram-se 45 chapas aglomeradas, quadradas, com 50 cm de aresta. Depois de prensadas, apararam-se as bordas das chapas em serra circular e, posteriormente, foram climatizadas à temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa.

### Testes mecânicos

Os testes realizados para avaliação da qualidade das chapas foram: flexão estática; arrancamento de pregos e ligação interna. Todos os testes seguiram as recomendações da norma norte-americana D 1037 – 93 (ASTM, 1995). Os ensaios foram feitos em Máquina Universal de Ensaio, hidráulica, marca Amsler, capacidade de 20 toneladas, pertencente ao Laboratório de Produtos Florestais da UFSM. Os pares de dados de carga e deformação foram alimentados automaticamente a uma placa de aquisição de dados, inserida em um computador IBM PC.

No teste de flexão estática, determinaram-se o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE). Para avaliar a qualidade de colagem, determinaram-se os valores de ligação interna, por meio do teste de tração perpendicular à superfície da chapa, registrando-se os valores em kgf/cm<sup>2</sup>. No teste de arrancamento de pregos, determinou-se a carga necessária para tal, expressa em kgf.

Além dessas variáveis, determinaram-se a densidade aparente (Da) e a densidade básica (Db) (peso seco em estufa e volume ao teor de umidade de equilíbrio) de cada corpo de prova condicionado.

### Análise dos resultados

As variáveis determinadas pelos testes foram avaliadas conjuntamente e correlacionadas com Da e Db, com a porcentagem de participação das espécies na mistura e a taxa de compressão real verificada em cada corpo de prova (TXR). Também foram levadas em consideração: a taxa de compressão nominal (TXC), densidade básica da mistura (Dm), teor de umidade base peso seco do corpo de prova (TUE) e teor de umidade real do colchão (TUC).

O modelo experimental utilizado foi monofatorial, composto de quinze tratamentos que variaram conforme a participação de cada espécie na mistura. Analisaram-se 45 chapas, sendo três repetições que pressupuseram uma restrição na casualização: a taxa de compressão. Utilizaram-se taxas de compressão de 1,21, 1,32 e 1,43, de forma a ampliar a abrangência de densidades de chapas fabricadas e permitir uma

análise das misturas de espécies em cada taxa de compressão, bem como das taxas de compressão para cada combinação de espécies. Constituiu-se assim conforme Storck e Lopes (1998), um experimento no delineamento blocos ao acaso em que cada taxa de compressão constituiu um bloco o qual recebeu uma vez cada tratamento.

O modelo experimental com a caracterização dos tratamentos pode ser visualizado na Tabela 1.

TABELA 1: Caracterização dos tratamentos para confecção das chapas.

Tratamentos	Taxas de compressão	Proporção de cada espécie (%) <sup>1</sup>		
		Eucalipto	Pinus	Acácia
1	1,21 – 1,32 – 1,43	100	0	0
2	1,21 – 1,32 – 1,43	75	25	0
3	1,21 – 1,32 – 1,43	50	50	0
4	1,21 – 1,32 – 1,43	25	75	0
5	1,21 – 1,32 – 1,43	0	100	0
6	1,21 – 1,32 – 1,43	0	0	100
7	1,21 – 1,32 – 1,43	0	25	75
8	1,21 – 1,32 – 1,43	0	50	50
9	1,21 – 1,32 – 1,43	0	75	25
10	1,21 – 1,32 – 1,43	75	0	25
11	1,21 – 1,32 – 1,43	50	0	50
12	1,21 – 1,32 – 1,43	25	0	75
13	1,21 – 1,32 – 1,43	25	50	25
14	1,21 – 1,32 – 1,43	50	25	25
15	1,21 – 1,32 – 1,43	25	25	50

Em que: <sup>1</sup> Proporção com base no peso seco total das partículas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Taxa de compressão

Foram encontrados diferentes valores de densidade entre os corpos de prova da mesma chapa o que significa alguma variação ao longo dela. Essas variações se refletiram na taxa de compressão e, assim, calculou-se o valor da taxa de compressão para cada corpo de prova que foi chamado taxa de compressão real (TXR).

Os valores médios encontrados de TXR foram de 1,31, 1,41 e 1,50, ficando assim 8,3, 6,8 e 4,9% acima dos valores nominais, inicialmente, previstos de 1,21, 1,32 e 1,43 respectivamente.

Tendo em vista essa variação de TXR ocorrida ao longo da chapas, calculou-se o coeficiente de variação para essa variável. O resumo da análise da variância para TXR pode ser visualizado na Tabela 2. O coeficiente de variação encontrado, igual a 2,56, é semelhante e menor que o verificado em outros trabalhos como, por exemplo, em Pimenta *et al.* (1996), para a densidade das chapas, demonstrando que o experimento foi bem controlado.

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

Em razão da alta correlação ( $R = 0,88$ ) encontrada entre MOR e MOE, essas duas variáveis foram analisadas conjuntamente. A propriedade que melhor se relacionou com o MOR e o MOE foi a densidade básica da chapa ao teor de umidade de equilíbrio (Db). As Figuras 1 e 2 mostram o gráfico de MOR e MOE,

respectivamente, ajustados em função da Db. Apesar das chapas terem sido feitas com diferentes taxas de compressão, encontraram-se correlação e ajustes significativos entre MOR ou MOE e Db, para todas as chapas fabricadas.

TABELA 2: Resumo da análise da variância dos dados de taxa de compressão real (TXR).

F. V.	G. L.	Quadrado médio
Mistura de espécies	14	0,0048
TXC	2	0,133
Resíduo	28	0,0013
Coeficiente de variação (%)		2,56

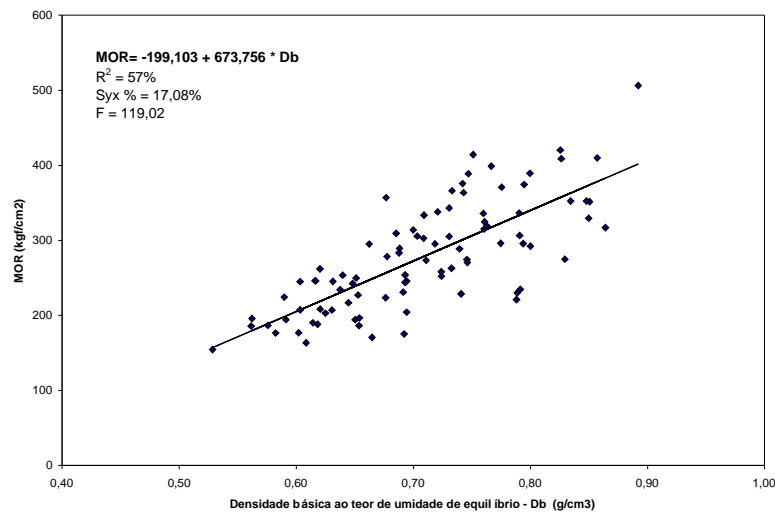


FIGURA 1: Valores de MOR, observados e estimados em função da densidade básica das chapas ao teor de umidade de equilíbrio (Db).

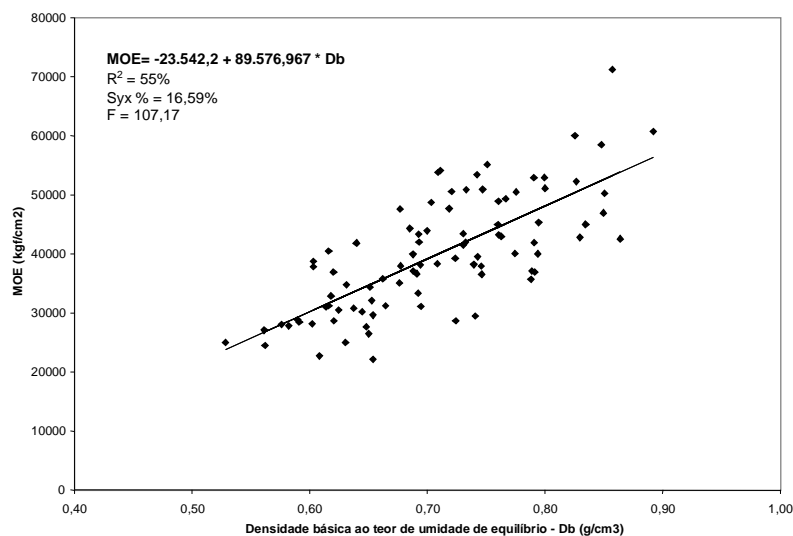


FIGURA 2: Valores de MOE, observados e estimados em função da densidade básica das chapas ao teor de umidade de equilíbrio (Db).

À medida que aumenta a densidade da chapa, aumentam o MOR e o MOE, independente da espécie de madeira ou mistura utilizada. Para um mesmo tratamento, ou seja, mesma madeira ou mesma mistura, o MOR e o MOE aumentam com o aumento da taxa de compressão. Esperava-se assim que a inclusão da

variável TXR, juntamente com a Db, na estimativa de MOR ou MOE aumentasse a precisão da estimativa, o que não ocorreu.

Na análise individual de cada tratamento, houve ajuste entre MOR e MOE em função de TXR para diversos tratamentos, porém, na medida em que acácia está presente na mistura, a correlação entre MOR ou MOE e taxas de compressão reais passa a ser não-significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Esse fato foi atribuído à dificuldade de prensagem das chapas que continham 50% ou mais de proporção de acácia. Durante o processo de produção foi notado que, para tais chapas mais densas, o tempo de fechamento da prensa foi mais longo, ou seja, os pratos não alcançaram as barras limitadoras dentro dos 37 segundos, como esperado, levando de dois a três minutos. Segundo Ginzler e Peraza (1966), para que o processo mecânico envolvido na produção, durante a prensagem, seja satisfatório, o fechamento da prensa deve ocorrer em um minuto ou menos.

Para visualizar a influência da taxa de compressão sobre MOR e MOE, ajustaram-se modelos de estimativa dessas variáveis em função da TXR e da proporção de acácia na mistura. Como pinus e eucalipto possuem densidades básicas semelhantes, a proporção de acácia expressa a densidade da matéria-prima (partículas), mostrando a importância da taxa de compressão quando analisada conjuntamente com a densidade básica da madeira utilizada nas chapas. As Figuras 3 e 4 mostram o gráfico de MOR e MOE respectivamente, em função da TXR para cada proporção de acácia na mistura.

Tendo em vista a influência da taxa de compressão sobre MOR e MOE e baseado em estudos como de Haselein (1989) e Vital (1973) os quais mostram que um aumento da taxa de compressão provoca aumento das propriedades de resistência à flexão, pode-se esperar que MOR e MOE de chapas feitas com madeira mais leve, ou mistura de madeiras com menor densidade, sejam superiores aos estimados nas Figuras 1 e 2, para chapas de mesma densidade.

#### Tração perpendicular à superfície da chapa (Ligação interna)

A propriedade que apresentou maior correlação com a tração perpendicular (LI) foi a taxa de compressão real (TXR). A densidade da chapa (Db) também mostrou boa correlação com essa variável. Em geral, tanto a maior compressão como a maior densidade do painel significa diminuição dos espaços vazios e da porosidade, resultando em uma melhor colagem. Assim, os valores de LI aumentam com o aumento da TXR ou com o aumento de Db. Esses resultados foram também encontrados em diversos trabalhos (Place e Maloney, 1977; Brito, 1984; Haselein, 1989; Alberto e Keinert Junior, 1993).

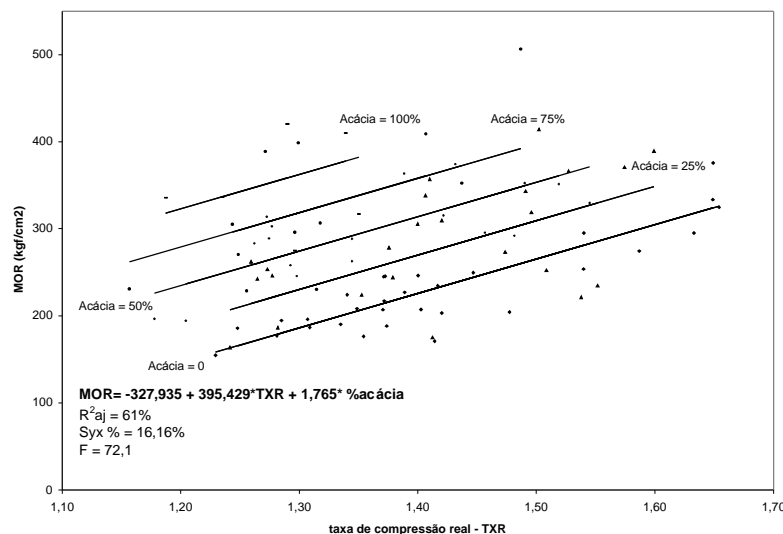


FIGURA 3: Valores de MOR, observados e estimados em função da taxa de compressão real (TXR) e da proporção de acácia na mistura.



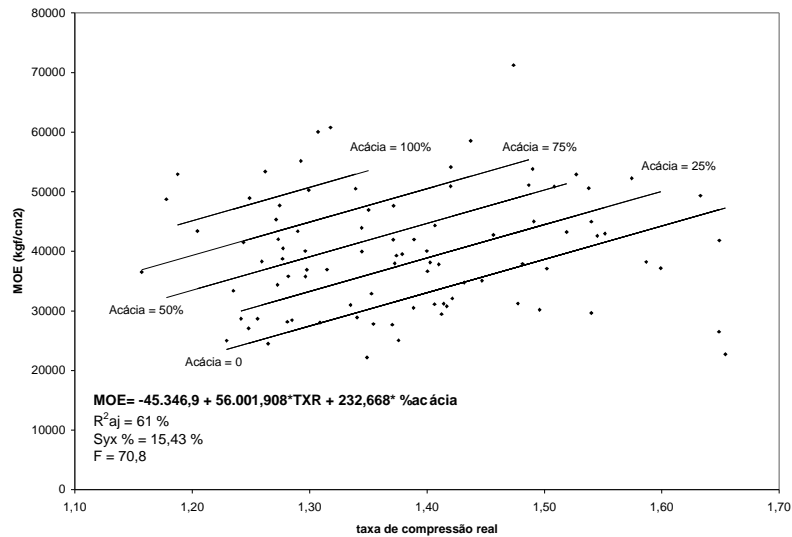


FIGURA 4: Valores de MOE, observados e estimados em função da taxa de compressão real (TXR) e da proporção de acácia na mistura.

O melhor modelo de regressão linear, ajustado pelo método *stepwise*, incluiu a taxa de compressão real (TXR) e a proporção de eucalipto na mistura (Figura 5). A forte influência da proporção de eucalipto sobre a ligação interna pode ser atribuída à dificuldade de colagem das madeiras de eucalipto.

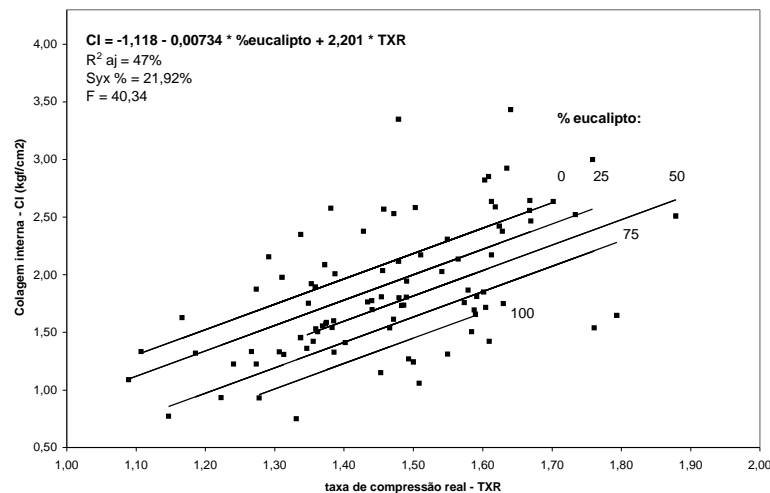


FIGURA 5: Valores de ligação interna (LI) observados e ajustados em função da taxa de compressão real (TXR) e da proporção de eucalipto na mistura.

Por outro lado, ressalta-se que os valores encontrados de LI ficaram abaixo dos mínimos exigidos nos padrões de qualidade internacional. Os fatores responsáveis pela baixa qualidade de colagem provavelmente estão relacionados com o teor de umidade do colchão e com o teor de adesivo. Sabe-se que a colagem melhora com o aumento do teor de adesivo e que a umidade do colchão é fator determinante na produção de painéis com adesivo à base de tanino-formaldeído.

### Arrancamento de pregos

Não foi encontrada correlação significativa, ao nível de 5% de probabilidade de erro, da carga máxima necessária ao arrancamento de pregos com qualquer variável de produção analisada. A análise de variância, por sua vez, não denota diferença estatística significativa para tratamentos, ou seja, espécies ou

misturas, tão pouco para taxas de compressão nominais.

O alto coeficiente de variação encontrado para a variável AP, igual a 22%, demonstra a variabilidade dos resultados obtidos em cada tratamento e em cada taxa de compressão nominal. Os valores encontrados, no entanto, podem ser usados como referência para outros trabalhos com chapas estruturais, tendo em vista a pouca disponibilidade de dados sobre essa variável na literatura.

Os valores médios da carga necessária ao arrancamento de pregos podem ser visualizados na Figura 6.

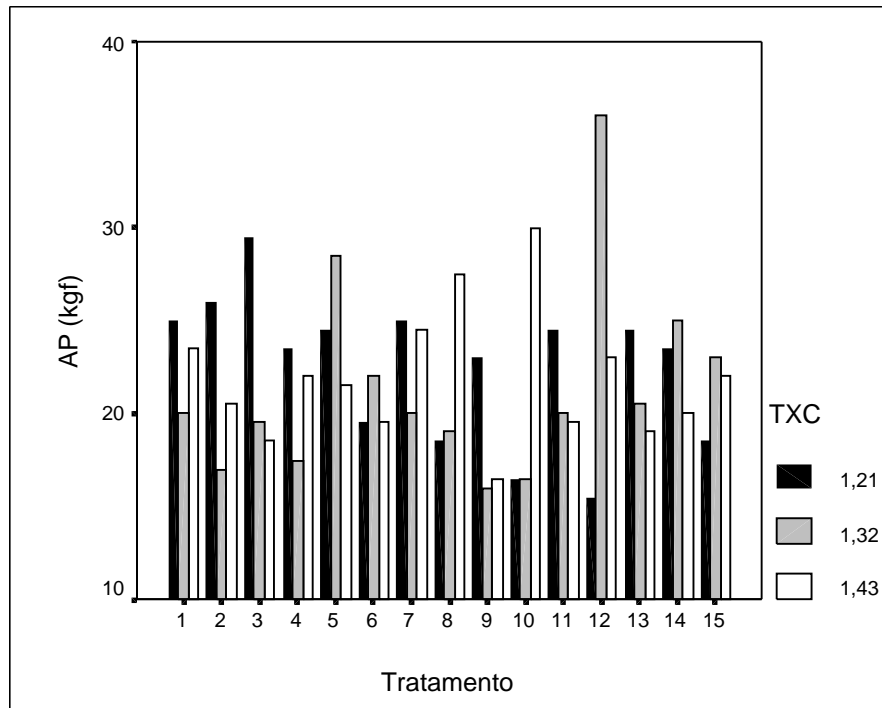


FIGURA 6: Valores médios da carga necessária para arrancamento de pregos (AP), nos diferentes tratamentos e taxas de compressão nominais (TXC).

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista os resultados obtidos e discutidos no presente trabalho, pode-se relacionar as seguintes conclusões e recomendações:

Os valores médios encontrados para módulo de ruptura e módulo de elasticidade foram superiores aos exigidos pelos padrões de qualidade internacionais, em todas as chapas fabricadas. Houve alta correlação, linear e positiva, entre módulo de ruptura e módulo de elasticidade, sendo que se comportaram de maneira semelhante, quando comparados com as propriedades físicas e os parâmetros de produção das chapas.

A densidade básica da chapa, ao teor de umidade de condicionamento, foi a variável que apresentou maior influência sobre módulo de ruptura e módulo de elasticidade. A taxa de compressão apresentou menor influência sobre essas duas variáveis, fato que foi atribuído à dificuldade de prensagem das chapas que continham maiores proporções de acácia na mistura.

Os valores médios encontrados para ligação interna ficaram abaixo dos exigidos pelos padrões de qualidade internacionais, mostrando baixa qualidade da colagem.

Não foi encontrada diferença estatística significativa, ao nível de 5% de probabilidade de erro, entre a carga necessária ao arrancamento de pregos e as variáveis de produção. O coeficiente de variação encontrado para essa variável, igual a 22%, é considerado alto.

De um modo geral, a mistura de espécies trouxe vantagens para as propriedades mecânicas das chapas, tendo em vista ajustar a densidade básica da matéria-prima para valores médios. Individualmente, as chapas confeccionadas com madeira de acácia apresentaram os maiores valores de MOE e MOR, enquanto que as chapas confeccionadas com madeira de eucalipto apresentaram influência negativa sobre a colagem interna.

Recomenda-se experimentar o uso de partículas com maior espessura e mesmo comprimento, o que causaria a diminuição da área superficial, disponibilizando maior quantidade de adesivo por unidade de área. Como consequência, teria-se também a diminuição do coeficiente de esbeltez, o que é possível, tendo em vista os altos valores de módulo de ruptura e de elasticidade apresentados pelos painéis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERS, L. E. **Particle board and hardboard**. Great Britain : Balckie & Son Ltda, 1966. v. 4.
- ALBERTO, M. M. M.; KEINERT JUNIOR, S. Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards” - Parte I - Efeitos sobre as propriedades de resistência. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais ...** Curitiba : SBS - SBEF, 1993. 783 p. p. 613-618.
- ANDERSON, A. B. Bark extracts as bonding agent for particleboard. **ACS-American Chemical Society symposium series wood technology: chemical aspects**. n. 43, p. 235-242, 1977.
- 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.
- \_\_\_\_\_. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**, D 143 – 94. Philadelphia, PA, 1995.
- BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para produção de chapas de composição estruturais waferboards**. 1984. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSITH, C. C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1952. 2 v.
- GEORGE J.; ZOOLAGUD, S. S.; RANGARAJU, T. S. Preliminary investigations on the use of tannin adhesives for particle board manufacture. **IPIRI Journal**, v. 6, n. 1, p. 37-41, 1976.
- GINZEL, W.; PERAZA C. **Tecnologia de tableros de partículas**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187 p.
- 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 embaúba (*Cecropia sp.*)**. 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M. P. *et al.* Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais “waferboard”. **Agrárias**, v. 14, n. 1/2, p. 107-114, 1995.
- KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II: wood based materials**. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 1975. 703 p.
- LYNAM, F. C. Factors influencing the properties of wood chipboard. **Wood**, n. 24, p. 18-20, 1959.
- MACEDO, A. R. P.; ROQUE, C. A. L. Painéis de madeira. **Painel.doc**. Disponível em: <[www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br)>. Acesso em 1998.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 2 v.
- MITLIN, L. Basic raw material for particleboard manufacture. **Particleboard manufacture and application**. Kent: Pressmedia Sevenoaks, 1968. p. 9-25.
- NAKAMURA, R. M.; SOBRAL FILHO, M. **Agglomerado de mistura de espécies tropicais da Amazônia**. Brasília: IBDF, 1982. 7 p.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G. **Tópicos de tecnologia da madeira: adesão e adesivos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1978. 93 p.

PIMENTA A. S., *et al.* Produção de chapas de flocos com adesivos fenólicos à base de alcatrão e creosoto de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 20, n. 3, p. 343-366, 1996.

PIZZI, A.; SCHARFETTER, H.; KES, E.W. Adhesives and techniques open new possibilities for the wood processing industry. 1. Experience with tannin based adhesives. **National Timber Res. Inst.**, v. 39, n. 3, p. 85-89, 1981. Resumo publicado no Forest Products Abstracts, 1982.

PLACE, T. A.; MALONEY, T. M. Internal bond and moisture response properties of three-layer, wood bark boards. **Forest products journal**, v.27, n.3, p. 50-54, 1977.

ROQUE, C. A. L. **Painéis de madeira aglomerada: SET805.doc**. Disponível em: <[www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br)>. Acesso em 1998.

SANTANA, M. A. E.; COPPENS, H. A.; PASTORE JUNIOR, F. **Adesivo de tanino-formaldeído para fabricação de compensado e aglomerado para uso interior e exterior**. Brasília : IBDF, 1979. 19 p.

SANTANA, M. A. E.; PASTORE JUNIOR, F. **Adesivos de tanino-formaldeído para aglomerados: influência do pH de refluxo e do pH de utilização nas propriedades do adesivo**. Brasília : IBDF, 1980. 12 p.

STORCK, L.; LOPES, S. J. **Experimentação II**. 2. ed. Santa Maria : UFSM – CCR – Departamento de Fitotecnia, 1998. 205 p.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. Madison, 1973. 111 p. Thesis (Master of Science - Forestry) - University of Wisconsin, Madison.

WILSON, J. B., KRAHMER, R. L. Particleboard: microscopic observations of resin distribution and board fracture. **Forest Products Journal**, v. 26, n. 11, p. 42-45, 1976.