

Estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais (flakeboards) fabricadas com madeiras de *Pinus*, eucalipto e acácia-negra

Dimensional stability of structural flakeboard made from pine wood, *Eucalypts* and wattle

Éverton Hillig
Clovis Roberto Haselein
Elio José Santini

RESUMO: Neste trabalho foram avaliadas as propriedades de estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e *Acacia mearnsii* De Wild. As chapas foram confeccionadas com proporções de 0%, 25%, 50%, 75% ou 100% peso seco de partículas de cada espécie, perfazendo um total de quinze tratamentos que produziram chapas das espécies puras, misturadas a duas e a três. Para avaliar a influência da taxa de compressão sobre as chapas, instalou-se o experimento no delineamento blocos ao acaso, onde taxas de compressão de 1,21, 1,32 e 1,43 constituíram os blocos. As partículas, de dimensões médias de 90 x 20 x 0,6 mm, foram manualmente formadas em um colchão e prensadas por 10 minutos a pressão de 35 kgf/cm² e coladas com 8% de adesivo tanino-formaldeído. Todas as variáveis analisadas apresentaram influência sobre as propriedades de estabilidade dimensional, no entanto, a proporção de pinus foi a variável de maior influência. Para esta espécie o aumento da taxa de compressão provocou aumento do inchamento em espessura, enquanto para eucalipto se manteve constante e para acácia causou diminuição.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade dimensional, Chapa aglomerada estrutural, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mearnsii*, Compressão, Inchamento

ABSTRACT: In this work were evaluate the dimensional stability properties of structural flakeboard, made with pine (*Pinus elliottii* Engelm), eucalypt (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) and wattle (*Acacia mearnsii* De Wild) wood. The boards were manufactured with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the oven-dry weight proportion of each species used single or mixed (two or three combined). To evaluate the influence of the compression ratio on flakeboard properties, three replications with 1.21, 1.32 and 1.43 compression ratios were organized in fifteen random block treatments. The particles, of 90 x 20 x 0.6mm average sizes, were manually formed into a mattress and pressed for ten minutes with 35 Kg/cm² of specific pressure and glued with 8 percent resin solids content. All analyzed variables influenced dimensional stability properties, whereas the pine proportion was the variable of major influence. With pine particles, increasing compression ratio caused increase in thickness swelling, while with eucalypt kept constant and decreased with wattle proportion increase.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensional stability, Structural flakeboard, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mearnsii*, Compression, Swelling

INTRODUÇÃO

A matéria-prima utilizada para fabricação de aglomerados divide-se em fontes de fibra, adesivos e aditivos. Enquanto sobre os adesivos e aditivos se tem maior controle, utilizando os mais adequados tendo em vista a finalidade das chapas, sobre as fontes de fibras, variáveis, como a dispo-

nibilidade em quantidades adequadas, baixo custo de aquisição e baixo custo de armazenamento e manuseio, têm influência direta no momento da escolha. Qualquer fonte de fibra pode ser utilizada para confecção de aglomerados, no entanto, a qualidade do produto final limita o campo de escolha (Roque, 1998).

Por outro lado, segundo Valença et al. (1999), embora a indústria de painéis aglomerados tenha surgido com o propósito de aproveitamento dos resíduos, no Brasil são utilizados preferencialmente cavacos de madeira de florestas plantadas, especialmente de eucaliptos e pinus. Com isto, o controle sobre o material ligno-celulósico assume maior importância.

As variações em espécies ou tipos de madeira produzem diferentes efeitos nas chapas de partículas. Conforme Carlyle (1956), as variáveis: densidade, compressibilidade, dureza, propriedades de colagem, pH, tipos de fibras e extrativos, dentre outras, variam entre diferentes tipos de madeira, o que pode afetar as propriedades das chapas.

Dentre essas variáveis, a densidade da madeira é a propriedade que oferece o maior número de informações (Moslemi, 1974). De fato, as propriedades mecânicas das chapas como módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e ligação interna (LI) são em grande parte explicadas pela densidade básica da madeira utilizada (Hillig et al., 2002). No caso da estabilidade dimensional, entretanto, outras características como estrutura anatômica, propriedades de colagem e pH interferem com a mesma ou maior proporção que a densidade.

Tendo em vista estes fatores, realizou-se este estudo com objetivo de analisar as propriedades de estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais produzidas com espécies puras ou misturadas de madeiras de pinus, eucalipto e acácia. Mais especificamente, o estudo visou correlacionar as propriedades de estabilidade dimensional das chapas produzidas, com as diferentes proporções de misturas e com as variáveis envolvidas no processo de produção, além de estabelecer modelos matemáticos que expliquem a influência da participação de cada espécie na mistura e das variáveis de produção sobre as propriedades de estabilidade dimensional.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A madeira como matéria-prima

Segundo Akers (1966), são fatores igualmente importantes no processo de produção de aglo-

merados, o material ligno-celulósico, a resina e os aditivos. Como material ligno-celulósico cita resíduos florestais, resíduos da indústria madeireira e resíduos de culturas anuais. Em todos os casos, considera importante o controle sobre estes materiais.

Kehr e Schilling, apud Vital (1973), estudando a capacidade de utilização de várias espécies de madeira na produção de chapas aglomeradas de três camadas, concluíram que as propriedades de absorção d'água e inchamento em espessura foram influenciadas, principalmente, pela espécie de madeira.

Em estudo sobre a influência do lenho juvenil na estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais, Geimer et al. (1997) confeccionaram chapas tipo "flakeboards" com partículas alinhadas transversalmente (balanceadas) e com partículas distribuídas ao acaso. Observaram que tanto a absorção d'água como o inchamento em espessura foram estatisticamente menores para chapas fabricadas com lenho juvenil do que com lenho adulto, na avaliação de todas as chapas produzidas.

Ainda, com relação à composição química da madeira, Niekerk et al. (1994) relataram a dificuldade de fabricação de aglomerados para uso externo (resistentes à umidade), quando são usadas madeira de *Eucalyptus grandis* e resinas fenólicas, em razão do rápido decréscimo do pH durante o processo de produção.

Vick et al. (1996) fabricaram chapas estruturais (flakeboards) com partículas de madeira reciclada, tratada com CCA (cromo, cobre e arsênio) e compararam com chapas feitas de madeira não tratada. O tratamento preservativo ocasionou a diminuição dos valores de estabilidade dimensional, quando comparadas com as obtidas para chapas feitas de madeira não tratada. Os autores atribuíram esta diminuição a diversos fatores, entre eles que o preservativo CCA, fixado quimicamente à parede celular das células da madeira, bloqueou fisicamente a adesão entre parede celular e adesivo.

Parâmetros técnicos de produção

Dentre os fatores do processo produtivo que influem nas propriedades das chapas aglomeradas,

estão a densidade da chapa e a taxa de compressão. Sendo a taxa de compressão definida como a razão entre a densidade da chapa e a densidade da madeira, torna-se clara a influência desta última. Por outro lado, a forma de cálculo da taxa de compressão deve ser considerada. Segundo Hillig (2000), quando do cálculo da densidade da chapa em função da taxa de compressão deve-se considerar o peso do adesivo e dos aditivos, de forma que a taxa de compressão nominal se aproxime mais da taxa de compressão real das chapas.

Por outro lado, enquanto um aumento da densidade do painel, em geral provoca aumento da resistência à flexão e da resistência à tração (Kollmann et al., 1975, Vital (1973) e Haselein, 1989), em relação à estabilidade dimensional, a influência da densidade do painel não é bem definida.

Suchsland, (1973) observou que a relação entre estas duas variáveis não é clara. Segundo ele, sabendo que a quantidade de água adsorvida é diretamente proporcional à densidade básica da madeira, chapas de alta densidade poderiam inchar mais que chapas de baixa densidade. Embora esta relação ocorra com madeira sólida, em relação às chapas isto não acontece necessariamente.

Com relação à taxa de compressão, Kollmann et al., (1975) citam que todas as propriedades das chapas são afetadas por esta variável em maior ou menor grau. Baixas taxas de compressão não promovem um bom contato entre partículas e permitem maiores espaços para penetração d'água, afetando sua absorção. Por outro lado, altas taxas de compressão pressupõem chapas de maior densidade para uma mesma densidade da matéria-prima e, conforme já visto anteriormente, a relação entre inchamento e densidade do painel não está bem clara.

Outros fatores que podem afetar as propriedades de estabilidade dimensional dos painéis são o teor de adesivo e a umidade do colchão. Anderson e Troughton (1996) ressaltaram algumas vantagens da colagem com adesivos fenólicos a altos conteúdos de umidade (em torno de 25%), entre elas, melhoria na capacidade de secagem, na aparência e na estabilidade dimensional.

Hse et al. (1994), estudando a influência de aplicação de vapor d'água nas chapas no momento da prensagem e utilizando seis tipos de resinas comerciais, concluíram que houve melhoria na estabilidade dimensional das chapas quando foi utilizado vapor d'água. Com a utilização de

fenol-formaldeído e melanina-uréia-formaldeído, as chapas confeccionadas com aplicação de vapor apresentaram melhor estabilidade dimensional que aquelas fabricadas com prensagem convencional.

Adesivos a base de tanino-formaldeído e aditivos

Os adesivos de tanino-formaldeído possuem boa resistência à água, estando em uma posição intermediária entre as colas uréicas e as colas fenólicas. Anderson (1977) concluiu que as colas a base de fenol e fenol/resorcinol podem ser substituídas por extratos de casca de determinadas espécies florestais.

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 de *Acacia mearnsii* e sua aplicação em chapas aglomeradas, compensadas, laminadas e painéis colados tipo *finger* (junta de dedos), mostrando que dentre as espécies estudadas, esta tem-se mostrado mais promissora.

Alguns problemas na utilização de colas de tanino-formaldeído para fabricação de aglomerados foram destacados por Santana e Pastore Júnior (1980), como a alta umidade requerida para a manta de partículas e o alto teor de adesivo necessário. Neste estudo, os autores utilizaram 12% de proporção de adesivo (sólidos resinosos sobre o peso de partículas a 3% de umidade) e umidade do colchão de 20%.

Fechtal e Riedl (1993) extraíram taninos da casca de *Eucalyptus astrigens*, *Eucalyptus sideroxylo* e *Acacia mearnsii* e trataram com íons sulfito (SO_3^{--}) para superar a alta viscosidade e melhorar a reatividade. Depois de utilizar diversas combinações dos extratos na produção de aglomerados, os adesivos obtidos somente de extratos de eucaliptos não proporcionaram boa resistência à água, sendo as chapas consideradas apropriadas apenas para uso interno. Por outro lado, os autores consideraram os taninos obtidos de acácia e as combinações, comparáveis às resinas fenol-formaldeído.

Akers (1966) relacionou os aditivos mais comumente usados em aglomerados, que são: inseticidas, fungicidas, retardantes do fogo e retardantes da absorção d'água. No entanto, emulsão de parafina é, sem dúvida, o aditivo mais utilizado, e visa diminuir tanto a absorção como a adsorção d'água das chapas fabricadas.

Moslemi (1974) ressaltou que a quantidade de parafina aplicada geralmente é de 1% ou menos, pois quantidades maiores não proporcionam melhoria nas propriedades de estabilidade dimensional das chapas e, por outro lado, podem trazer problemas de colagem e reduzir as propriedades de resistência das chapas.

METODOLOGIA

Fabricação das chapas

Foram abatidas 6 árvores, 2 de cada espécie, escolhidas ao acaso, em 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-negra (*Acacia mearnsii* De Wild), respectivamente.

Depois de abatidas, as árvores foram transformadas em toras de 2,5 metros de comprimento, sendo que foram utilizadas 2 toras de cada árvore. Também, foram retirados discos a cada 2,5 metros e até a altura de 5 metros na árvore para determinação da densidade básica da madeira (peso seco / volume saturado), conforme sugerido na norma D143 – 94 (ASTM, 1995).

No Laboratório de Produtos Florestais foram geradas partículas de 90 x 20 x 0,6 milímetros, 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%, adquirida junto a Empresa Seta S.A. 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, com 37% ou 40% de sólidos, na proporção de 10% de sólidos de formol sobre sólidos da solução.

Para os cálculos das quantidades de produtos utilizados nas chapas, fez-se uma planilha de cálculos onde se inseriu a proporção de cada espécie na mistura e a taxa de compressão nominal (TXC), calculada pela razão entre a densidade da madeira na chapa e a densidade básica da madeira, para cada tratamento. Nesta planilha inseriram-se também os outros fatores do processo produtivo, que foram fixos para todos os tratamentos. Com base nestes dados, foram

calculadas as quantidades de materiais utilizados em cada tratamento (partículas, tanino, formol, parafina e água).

Como os tratamentos foram determinados em função da espécie de madeira e da taxa de compressão nominal, a densidade da chapa obtida em cada tratamento variou conforme a densidade básica da madeira ou da mistura utilizada, além de sofrer a influência de outros fatores não controláveis. Assim, calcularam-se também os valores da taxa de compressão real (TXR) de cada corpo-de-prova por meio da equação 1.

$$TXR = \frac{Db}{Dm} \quad (1)$$

Na prensagem, aplicou-se pressão específica de 35 kgf/cm² 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. Esta variação no tempo de prensagem foi necessária porque as chapas mais pesadas estouraram, quando da abertura da prensa aos 10 minutos, e tiveram sua estrutura comprometida. Assim, para que se viabilizasse a confecção destas chapas em perfeito estado, fixou-se um tempo de 20 minutos para a prensagem.

Confeccionaram-se 45 chapas aglomeradas, quadradas, com 50 centímetros de aresta e 9,5 milímetros de espessura nominal. 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 de absorção d'água e inchamento em espessura

A realização destes testes seguiu as recomendações da norma D 1037–93 (ASTM, 1995), sendo confeccionados dois corpos-de-prova de cada tratamento com dimensões de 150 mm x 150 mm. Os corpos-de-prova foram submersos em água à temperatura de 20°C. O material foi disposto horizontalmente e mantido submerso à mesma profundidade (25,0 milímetros) por meio de pesos em forma de grade.

Determinaram-se a densidade aparente (Da) e a densidade básica (Db), ao teor de umidade de equilíbrio, de cada corpo-de-prova condicionado, conforme as equações 2 e 3. Também foram determinados a espessura média, por meio de me-

dições, e o peso, com balança analítica eletrônica, das peças condicionadas e após 2 e 24 horas de submersão. Para medição da espessura, utilizou-se um relógio comparador adaptado especialmente para tal finalidade. As medidas de comprimento e largura foram feitas com paquímetro.

$$Da = \frac{\text{Peso ao teor de umidade de equilíbrio (g)}}{\text{Volume ao teor de umidade de equilíbrio (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

$$Db = \frac{\text{Peso seco (g)}}{\text{Volume ao teor de umidade de equilíbrio (cm}^3\text{)}} \quad (3)$$

Após as medições, os corpos-de-prova foram levados à estufa a 103°C, para determinação do teor de umidade base peso seco. Assim, foram determinados os teores de umidade dos corpos-de-prova à umidade de equilíbrio (TUE), após duas horas (TU 2) e após 24 horas (TU 24) submersos em água.

Além das densidades aparente (Da) e básica (Db), determinaram-se: o inchamento em espessura 2 horas (IE 2) e 24 horas (IE 24), absorção d'água em peso 2 horas (AP 2) e 24 horas (AP 24), absorção d'água em volume 2 horas (AV 2) e 24 horas (AV 24), cujos cálculos foram realizados por meios das equações 4, 5 e 6.

$$IE(\%) = \frac{\text{Espessura Média Final} - \text{Espessura Média Inicial}}{\text{Espessura Média Inicial}} \times 100 \quad (4)$$

$$AP(\%) = \frac{\text{Peso Médio Final} - \text{Peso Médio Inicial}}{\text{Peso Médio Inicial}} \times 100 \quad (5)$$

$$AV(\%) = \frac{\text{Peso Médio Final} - \text{Peso Médio Inicial}}{\text{Volume do Corpo-de-Prova}} \times 100 \quad (6)$$

onde: (Peso médio final–Peso médio inicial) = volume d'água absorvida, tendo em vista considerar a densidade da água igual a 1 g/cm³

Modelo experimental

O modelo experimental utilizado foi monofatorial, composto de 15 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 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.

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

Tabela 1

Caracterização dos tratamentos para confecção das chapas (Treatments characterization for make flakeboard)

Tratamentos	Taxas de Compressão	Proporção de cada espécie (%) ¹		
		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

¹ Com base no peso seco de partículas

As variáveis avaliadas no trabalho foram Da, Db, 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), a densidade básica da mistura (Dm), calculada pela média ponderada das densidades básicas de cada espécie em relação a sua proporção na chapa, o teor de umidade base peso seco do corpo-de-prova (TUE) e teor de umidade real do colchão (TUC).

Para análise dos dados, utilizou-se de correlação e regressão linear simples e múltipla das variáveis de estabilidade dimensional em função das variáveis de produção e das proporções de cada espécie na mistura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios encontrados para os diferentes tratamentos e três taxas de compressão estudadas são apresentados na Tabela 2.

Taxa de compressão e densidade das chapas

Os valores de densidade básica ao teor de umidade de equilíbrio (Db) das chapas foram determinados em função da taxa de compressão nominal (TXC) e da densidade básica da mistura (Dm). Para o cálculo de Dm utilizaram-se os resultados encontrados para as densidades básicas das madeiras estudadas, que foram de 0,47, 0,43 e 0,64 g/cm³ para pinus, eucalipto e acácia, respectivamente. Os valores médios de Db das chapas variaram entre 0,55 e 0,87 g/cm³.

Foram encontrados diferentes valores de densidade (db) entre os corpos-de-prova da mesma chapa, o que significa alguma variação ao longo dela. Estas variações refletiram-se na taxa de compressão e, por isso, utilizaram-se os valores da taxa de compressão real (TXR) nas análises.

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 esta variação de TXR ocorrida ao longo da chapas, calculou-se o coeficiente de variação para esta variável. O resumo da análise

da variância para TXR pode ser visualizado na Tabela 3. Não foi encontrado na literatura trabalho semelhante que considerasse a variação de densidade em diversos pontos da mesma chapa, no entanto o coeficiente de variação igual a 2,56% é menor que o verificado em Pimenta et al. (1996), para a densidade das chapas confeccionadas naquele experimento.

Teor de umidade de equilíbrio das chapas

Os valores médios de teor de umidade de equilíbrio (TUE) dos corpos-de-prova condicionados variaram de 3,74% a 8,78%. Esta amplitude de teor de umidade deve-se aos diferentes tempos de prensagem utilizados. Para tempo de prensagem de 10 minutos, a amplitude variou de 6,20% a 8,74% e para tempo de prensagem de 20 minutos ficou entre 3,54% e 4,70%.

Conforme Galvão e Jankowsky (1985), o aquecimento da madeira a altas temperaturas diminui sua umidade de equilíbrio por pequena perda de água de constituição. Assim, atribuiu-se a menor umidade de equilíbrio encontrada ao maior tempo de exposição das chapas à alta temperatura.

A Figura 1 mostra o teor de umidade de equilíbrio (TUE) dos corpos-de-prova, ajustado em função do tempo de prensagem (TP). O coeficiente de correlação ajustado, igual a 78%, demonstra a influência do tempo de prensagem no teor de umidade de equilíbrio das chapas.

Inchamento em espessura

Todas as variáveis de estabilidade dimensional consideradas (AP 2, AP 24, AV 2, AV 24, IE 2 e IE 24) mostraram correlação significativa entre si, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

Os valores médios de inchamento em espessura, verificados na Tabela 2, variaram de 2,10% a 5,67% para imersão em água por 2 horas (IE 2), e de 9,16% a 28,93% para medição após 24 horas de imersão (IE 24). Em ambos os casos, o cálculo das médias entre as três taxas de compressão estudadas mostrou que as menores médias (2,64% e 10,08%) foram encontradas para chapas feitas com 100% acácia e as maiores médias (4,81% e 25,31%) para chapas de 100% partículas de pinus.

Tabela 2

Dados médios encontrados para as variáveis de estabilidade dimensional nos diferentes tratamentos
(Medium values of dimensional stability variables on the distinct treatments)

Trat.	TXC	Tue (%)	TU 2 (%)	TU 24 (%)	TUC (%)	Dm (g/cm ³)	Da (g/cm ³)	Db (g/cm ³)	TXR	TP (min.)	IE 2 (%)	AP 2 (%)	AV 2 (%)	IE 24 (%)	AP 24 (%)	AV 24 (%)
1	1.21	8.63	18.49	55.05	15.05	0.43	0.60	0.55	1.28	10.00	3.67	9.08	5.41	14.35	42.74	25.45
2	1.21	7.54	19.97	69.60	15.77	0.44	0.60	0.56	1.26	10.00	5.67	11.57	6.90	20.56	57.71	34.44
3	1.21	8.78	20.47	61.92	16.53	0.45	0.64	0.59	1.32	10.00	4.09	10.75	6.92	18.69	48.86	31.48
4	1.21	8.14	22.74	74.67	16.58	0.46	0.65	0.60	1.30	10.00	4.15	13.50	8.71	21.03	61.52	39.69
5	1.21	8.38	26.47	84.81	16.51	0.47	0.67	0.62	1.31	10.00	4.49	16.70	11.13	22.14	70.52	47.05
6	1.21	7.25	15.75	37.25	15.81	0.64	0.82	0.77	1.20	10.00	2.96	7.93	6.54	11.94	27.98	23.07
7	1.21	7.46	15.00	43.54	16.28	0.60	0.82	0.76	1.28	10.00	4.09	7.01	5.76	17.14	33.57	27.54
8	1.21	7.93	20.40	62.64	16.99	0.56	0.73	0.68	1.22	10.00	3.59	11.56	8.48	22.14	50.69	37.17
9	1.21	8.13	22.43	74.02	15.80	0.51	0.76	0.70	1.37	10.00	4.78	13.22	10.01	26.69	60.93	46.16
10	1.21	7.58	17.14	51.14	16.03	0.48	0.65	0.61	1.27	10.00	2.91	8.88	5.81	12.61	40.49	26.52
11	1.21	7.28	14.83	44.67	15.40	0.54	0.73	0.68	1.27	10.00	2.81	7.05	5.17	13.16	34.86	25.57
12	1.21	6.95	14.28	38.17	15.44	0.59	0.83	0.78	1.32	10.00	3.23	6.85	5.68	11.96	29.18	24.16
13	1.21	7.85	18.89	47.89	16.26	0.50	0.72	0.67	1.34	10.00	5.20	10.24	7.39	17.19	37.13	26.79
14	1.21	7.47	17.00	53.70	15.81	0.49	0.69	0.64	1.31	10.00	4.89	8.86	6.11	17.70	43.01	29.69
15	1.21	8.04	18.01	50.10	16.29	0.55	0.77	0.71	1.30	10.00	3.45	9.23	7.05	16.03	38.94	29.81
1	1.32	7.53	17.02	59.40	15.84	0.43	0.63	0.59	1.37	10.00	3.73	8.83	5.58	16.65	48.24	30.46
2	1.32	7.36	16.89	43.32	16.60	0.44	0.65	0.60	1.37	10.00	3.49	8.88	5.75	15.48	33.49	21.72
3	1.32	8.10	17.75	53.85	16.85	0.45	0.68	0.63	1.40	10.00	2.81	8.92	6.05	16.18	42.32	28.72
4	1.32	8.54	19.80	68.32	15.37	0.46	0.70	0.64	1.40	10.00	5.15	10.37	7.25	24.93	55.07	38.47
5	1.32	8.16	26.44	89.99	15.96	0.47	0.71	0.66	1.40	10.00	5.19	16.90	11.93	24.85	75.65	53.59
6	1.32	4.70	10.87	29.85	16.68	0.64	0.85	0.81	1.27	20.00	2.86	5.90	5.03	9.16	24.03	20.47
7	1.32	6.20	15.38	39.46	16.88	0.60	0.85	0.81	1.34	10.00	3.89	8.64	7.38	17.35	31.32	26.77
8	1.32	7.21	16.34	46.83	16.57	0.56	0.81	0.75	1.35	10.00	4.03	8.51	6.86	17.23	36.95	29.77
9	1.32	8.03	19.90	52.69	16.15	0.51	0.77	0.72	1.40	10.00	4.47	10.99	8.49	19.60	41.34	31.93
10	1.32	7.83	16.33	48.31	15.95	0.48	0.69	0.64	1.32	10.00	3.93	7.89	5.40	14.20	37.55	25.73
11	1.32	6.59	14.14	32.33	16.44	0.54	0.81	0.76	1.42	10.00	4.62	7.09	5.77	13.52	24.15	19.66
12	1.32	6.78	13.97	36.27	15.10	0.59	0.84	0.78	1.33	10.00	3.62	6.73	5.63	13.07	27.61	23.04
13	1.32	8.45	16.39	45.72	16.96	0.50	0.79	0.73	1.45	10.00	3.76	7.33	5.76	19.02	34.37	27.06
14	1.32	7.71	16.75	51.71	16.00	0.49	0.73	0.68	1.38	10.00	4.48	8.40	6.15	16.67	40.85	29.92
15	1.32	7.65	16.39	45.25	17.01	0.55	0.77	0.71	1.30	10.00	3.73	8.12	6.23	14.01	34.93	26.78
1	1.43	8.02	14.18	44.68	15.86	0.43	0.73	0.67	1.57	10.00	2.43	5.70	4.15	15.75	33.94	24.71
2	1.43	7.46	16.03	53.35	16.93	0.44	0.72	0.67	1.52	10.00	3.55	7.97	5.73	19.74	42.71	30.64
3	1.43	7.54	15.86	53.26	16.96	0.45	0.77	0.72	1.59	10.00	4.56	7.74	5.96	20.63	42.52	32.75
4	1.43	7.70	18.77	55.03	16.99	0.46	0.74	0.69	1.50	10.00	4.04	10.28	7.64	20.94	43.95	32.69
5	1.43	7.94	22.54	78.91	16.55	0.47	0.74	0.68	1.45	10.00	4.75	13.53	9.98	28.93	65.76	48.53
6	1.43	4.42	10.37	27.82	16.87	0.64	0.90	0.87	1.35	20.00	2.10	5.69	5.14	9.16	22.40	20.24
7	1.43	3.74	10.55	30.82	16.79	0.60	0.89	0.86	1.43	20.00	3.10	6.56	5.80	11.76	26.08	23.03
8	1.43	7.12	15.52	36.77	15.04	0.56	0.91	0.85	1.52	10.00	3.62	7.84	7.14	15.41	27.68	25.19
9	1.43	7.25	18.41	64.92	16.32	0.51	0.81	0.76	1.48	10.00	5.27	10.40	8.43	26.69	53.77	43.43
10	1.43	7.37	15.69	45.30	16.86	0.48	0.74	0.69	1.43	10.00	3.84	7.75	5.72	16.47	35.33	26.07
11	1.43	7.10	15.30	41.32	15.05	0.54	0.81	0.75	1.40	10.00	3.71	7.66	6.15	14.64	31.95	25.68
12	1.43	4.15	9.63	27.79	16.23	0.59	0.90	0.86	1.47	20.00	2.69	5.26	4.73	9.89	22.70	20.44
13	1.43	7.78	16.74	46.10	16.85	0.50	0.81	0.75	1.49	10.00	3.83	8.32	6.70	18.46	35.56	28.64
14	1.43	7.78	15.88	47.86	15.29	0.49	0.82	0.76	1.55	10.00	3.90	7.52	6.13	20.96	37.18	30.29
15	1.43	3.75	10.82	36.20	16.55	0.55	0.80	0.77	1.41	20.00	2.22	6.81	5.48	12.56	31.27	25.10

Tabela 3

Resumo da análise da variância dos dados de taxa de compressão real (TXR)
(Variance analysis summary of the compression ratio values)

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Mistura de espécies	14	0,0048
Taxa de compressão	2	0,133
Resíduo	28	0,0013
Coeficiente de Variação(%)		2,56

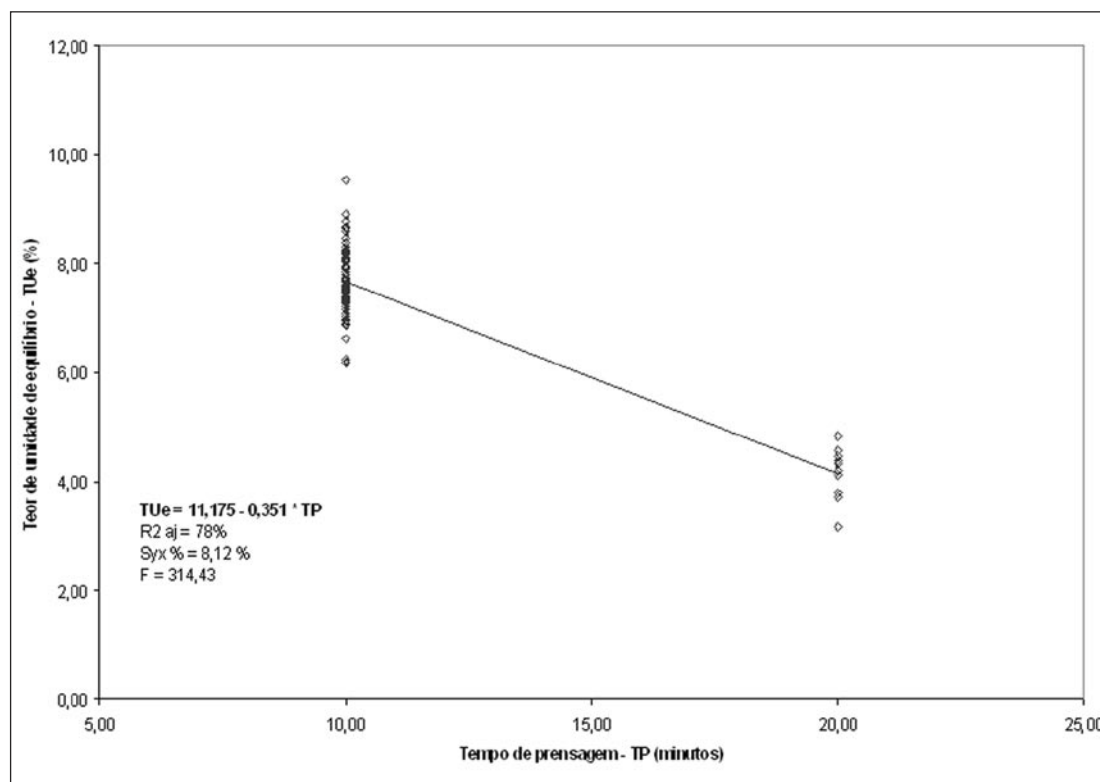


Figura 1

Teor de umidade de equilíbrio das chapas (TUE) em função tempo de prensagem (TP).
(Plot of the flakeboard Equilibrium Moisture Content vs. time pressing)

O melhor modelo encontrado para explicar o inchamento em espessura, tanto de 2 horas como de 24 horas, inclui a proporção de pinus na mistura e o tempo de prensagem. O gráfico dos valores observados e estimados de IE 24, em função da proporção de pinus e do tempo de prensagem, pode ser visualizado na Figura 2. Conforme já comentado, o tempo de prensagem (TP) tem influência no teor de umidade de equilíbrio das chapas (TUE) e, assim, indiretamente, no inchamento e absorção d'água.

A proporção de pinus na mistura, por sua vez, apresentou grande influência no inchamento em espessura devido aos maiores valores de inchamento encontrados para esta espécie. O cálculo das médias de IE24 para as três taxas de compressão estudadas, realizado com os dados da Tabela 2, apresentou os valores de 25,31% para pinus, de 15,58% para eucalipto e 10,08% para acácia. A média calculada para os outros tratamentos situou-se em valores intermediários e a média geral foi calculada em 17,27%.

Tabela 4
Correlações de Pearson entre as variáveis de fabricação analisadas e as propriedades de estabilidade dimensional das chapas
(Pearson correlation between the manufactures variables analyzed and flakeboard dimensional stability properties)

	Acácia (%)	Pinus (%)	Eucalipto (%)	Dm	Db	TXC	TXR	AP 2	AP 24	AV 2	AV 24	IE 2	IE 24	TUe	TU 2	TU 24	TP
Acácia (%)	1																
Pinus (%)	-0,50	1															
Eucalipto (%)	-0,50	-0,50	1														
Dm	0,98	-0,34	-0,65	1													
Db	0,78	ns	-0,58	0,80	1												
TXC	ns	ns	ns	ns	0,46	1											
TXR	-0,29	ns	ns	-0,28	0,34	0,75	1										
AP 2	0,55	0,79	0,24	0,43	0,55	0,34	-0,21	1									
AP 24	-0,68	0,74	ns	-0,59	-0,65	-0,26	ns	0,92	1								
AV 2	-0,33	0,85	-0,52	ns	-0,22	ns	ns	0,93	0,80	1							
AV 24	-0,54	0,83	-0,28	-0,42	-0,39	ns	ns	0,88	0,95	0,88	1						
IE 2	-0,42	0,51	ns	-0,36	-0,31	ns	ns	0,54	0,55	0,53	0,56	1					
IE 24	-0,62	0,80	ns	-0,51	-0,37	ns	0,23	0,72	0,82	0,73	0,89	0,66	1				
TUe	-0,66	0,41	0,26	-0,64	-0,69	-0,40	ns	0,52	0,58	0,38	0,48	0,45	0,58	1			
TU 2	-0,66	0,75	ns	-0,56	-0,67	-0,41	ns	0,95	0,91	0,85	0,85	0,58	0,76	0,76	1		
TU 24	-0,71	0,74	ns	-0,62	-0,68	-0,29	ns	0,92	1	0,79	0,94	0,56	0,83	0,65	0,93	1	
TP	0,53	-0,26	-0,26	0,52	0,54	0,35	ns	-0,39	-0,41	-0,31	-0,36	-0,46	-0,50	-0,88	-0,62	-0,48	1

Dm = densidade básica da mistura; Db = densidade básica da chapa; TXC = taxa de compressão nominal; TXR = taxa de compressão real; AP 2 = absorção em peso – 2 horas de imersão; AP 24 = absorção em peso – 24 horas de imersão; AV 2 = absorção em volume – 2 horas de imersão; AV 24 = absorção em volume – 24 horas de imersão; IE 2 = inchamento em espessura – 2 horas de imersão; IE 24 = inchamento em espessura – 24 horas de imersão; TUe = teor de umidade de equilíbrio do corpo de prova; TU 2 = teor de umidade □

ns = Correlação não significativa, ao nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste t

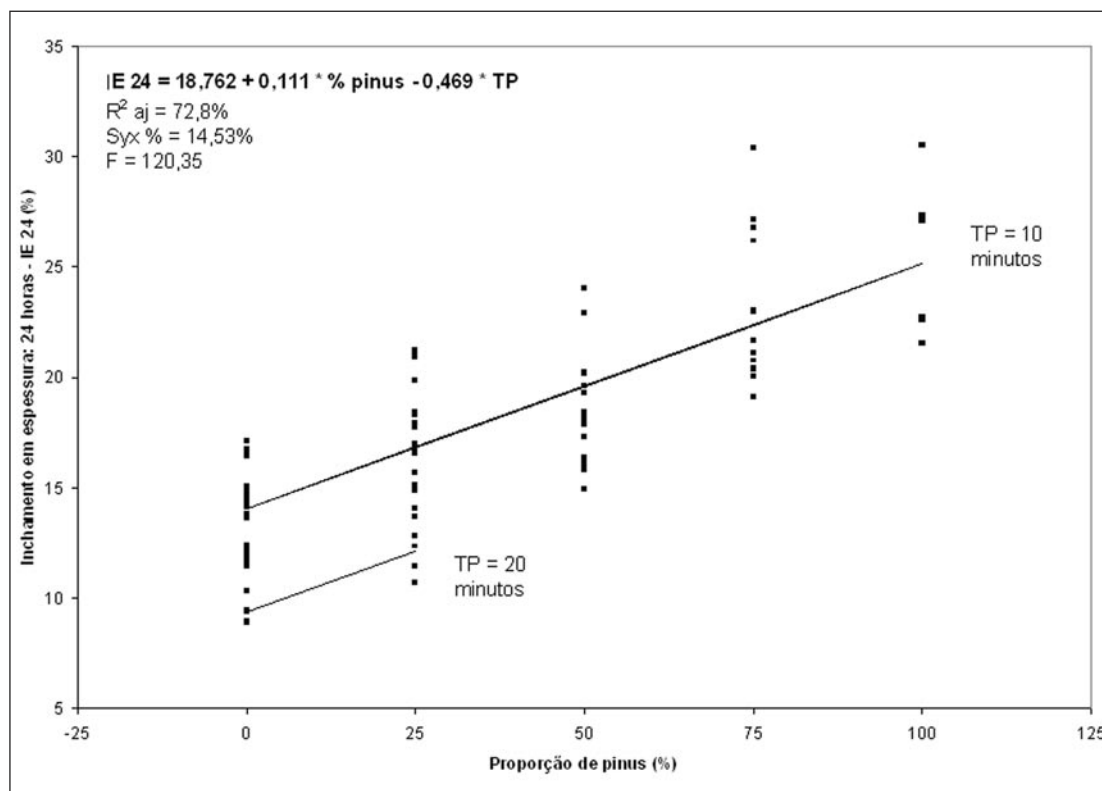


Figura 2

Valores de inchamento em espessura (IE 24), observados e ajustados em função da proporção de pinus na mistura e do tempo de prensagem (TP).

(Plot of the thickness swelling 24 hours values vs proportion of pine and time pressing)

Os valores médios de IE24 para todas as misturas que continham alguma participação de pinus ficaram acima dos máximos exigidos pela norma DIN 68761 (1) – 1961 (3) (German Standards Committee, 1971), que é de 12%. Para IE 2, todas as chapas apresentaram valores médios menores que o máximo exigido pela mesma norma, que é de 6%. Os altos valores encontrados de inchamento após 24 horas para chapas feitas com 100% de pinus, no entanto, são semelhantes aos encontrados por Alberto e Keinert Júnior (1993) para chapas feitas com partículas de *Pinus patula* e coladas com fenol-formaldeído.

Analisando cada espécie individualmente, a variável que apresentou maior influência sobre o inchamento é a taxa de compressão real (TXR). Enquanto o inchamento aumenta com o crescimento da TXR para pinus, ocorre o contrário

com acácia e não há diferença estatística significativa para eucalipto. Isto se confirmou pela análise de variância das regressões, que mostrou a linha de regressão para eucalipto não significativa a 5% de probabilidade de erro. A Figura 3 mostra os valores de IE 24 encontrados para as diferentes TXR, juntamente com a linha de regressão ajustada para cada espécie. Este diferente comportamento apresentado pelas diferentes espécies de madeira frente à taxa de compressão e os altos valores de inchamento apresentados pelas chapas feitas com pinus, demonstram a influência de outros fatores inerentes à espécie além da densidade básica de cada uma.

Os resultados são semelhantes aos encontrados em trabalhos anteriores como Halligan (1970) e Iwakiri et al. (1995) quando atribuíram o maior inchamento em espessura à menor densidade da

matéria-prima e conseqüente maior taxa de compressão. Por outro lado, complementam aqueles trabalhos pois a influência da densidade básica da matéria-prima, ou densidade básica da mistura, neste estudo, é pequena quando comparada com outros fatores inerentes à espécie. Isto pode ser mais facilmente visualizado quando são calculadas as médias de IE 24 para pinus (25,31%) e eucalipto (15,58%). Estas espécies apresentaram densidades básicas semelhantes e foram usadas em chapas sob mesmas taxas de compressão.

Absorção d'água

Os valores encontrados para absorção d'água em peso, embora altamente correlacionados com inchamento em espessura, mostraram alguns re-

sultados diversos. Uma análise inicial demonstra altos valores médios de absorção d'água, os quais variaram de 5,26% a 16,90% para 2 horas (AP 2), e de 22,40% a 75,65% para 24 horas de imersão (AP 24). As médias calculadas para os tratamentos ficaram quase todas acima da média citada no USDA (1987), para chapas tipo waferboard, para 24 horas de imersão, que é de 10% a 30%. Apenas as chapas feitas com 100% acácia e as chapas com 75% acácia e 25% eucalipto mostraram-se dentro dos padrões. Assim, de imediato, pode-se notar uma maior influência da proporção de eucalipto na absorção d'água do que no inchamento em espessura, quando comparados com os referenciais da literatura.

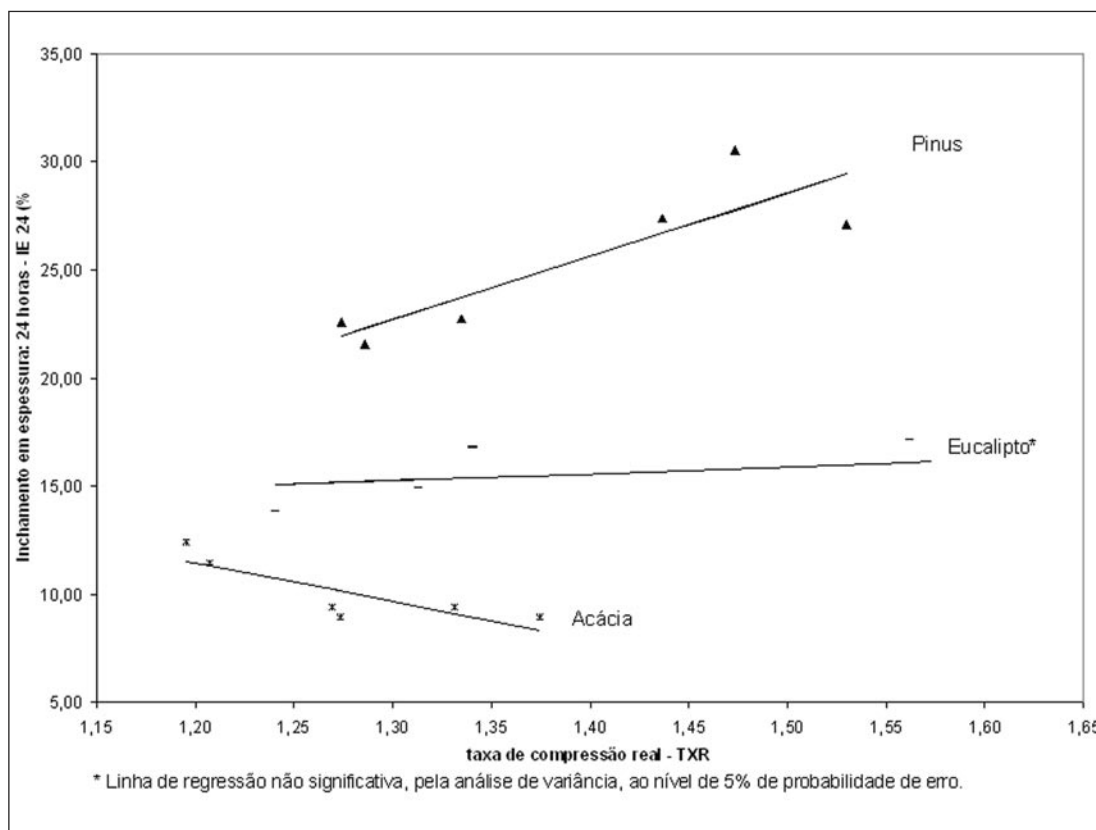


Figura 3

Valores de inchamento em espessura (IE 24), para chapas feitas com cada espécie individualmente, para as diferentes taxas de compressão reais (TXR), com as respectivas linhas ajustadas por regressão linear.

(Thickness swelling 24 hours values, for flakeboards made with each individual species, for the distinct real compression ratio, adjusted to linear regression)

Na análise da absorção d'água em função das variáveis de produção, o melhor modelo para explicar AP 2 e AP 24, para todas as chapas fabricadas, inclui as proporções de duas espécies na mistura, a taxa de compressão real e a umidade do colchão. Este modelo demonstra a influência de quase todas as variáveis de produção consideradas no presente trabalho sobre a absorção d'água, sendo esta diretamente proporcional às proporções de pinus e eucalipto na mistura e inversamente proporcional à taxa de compressão e à umidade do colchão.

Por outro lado, a variável de maior influência na absorção d'água é a proporção de pinus, seguida da taxa de compressão real (TXR), proporção de eucalipto ou acácia e, finalmente, teor de umidade do colchão (TUC). A Tabela 5 mostra um resumo dos coeficientes encontrados para cada modelo, mediante a inclusão de cada variável, com os respectivos valores de "t" e a porcentagem de significância para AP 24.

Quando se analisam as espécies individualmente, os dados mostram comportamento di-

ferenciado da absorção d'água e do inchamento em espessura. A Figura 4 apresenta a AP 24 em função da taxa de compressão real (TXR), para cada espécie estudada. Neste caso, para as três espécies, a AP 24 diminuiu com aumento da TXR. Este fato é previsível, pois aumento da taxa de compressão significa diminuição de espaços vazios e, conseqüentemente, de facilidade para penetração d'água. Conforme foi visto anteriormente, para o caso de inchamento em espessura, os resultados mostraram que, mesmo com este comportamento de absorção d'água, a TXR influenciou de maneira diferente para cada uma das espécies estudadas.

Em uma análise conjunta das variáveis de estabilidade dimensional em relação às variáveis de produção, pode-se ressaltar a alta correlação entre as variáveis determinadas de absorção d'água (AP 2, AP 24, AV 2 e AV 24) e inchamento em espessura (IE 2 e IE 24). Também deve ser destacada a influência de praticamente todas as variáveis de produção (Db, TXR, TUC, proporção de cada espécie na mistura) sobre estas propriedades.

Tabela 5

Valores dos coeficientes b0 e b1, encontrados em diferentes modelos de regressão linear para AP 2, mediante a inclusão de novas variáveis, com respectivos valores de "t" e significância (Values of the b0 e b1, met on distinct linear regression model of the weight absorption 2 hours, by means of the inclusion of new variables, with values of "t" and significance)

Modelo	Coeficientes não padronizados (b0 e b1)		Coeficiente padronizado (b1)	t	Signif.
	Valor	Erro padrão			
1 Constante	6,772	0,254		26,661	<0,001
% pinus	0,0678	0,006	0,788	12,000	<0,001
2 Constante	20,256	1,872		10,818	<0,001
% pinus	0,0732	0,005	0,864	16,243	<0,001
TXR	-9,940	1,372	-0,385	-7,244	<0,001
3 Constante	21,194	1,569		13,504	<0,001
% pinus	0,0880	0,004	1,038	19,802	<0,001
TXR	-11,639	1,177	-0,451	-9,890	<0,001
% eucalipto	0,0273	0,004	0,322	6,242	<0,001
4 Constante	28,136	3,383		8,318	<0,001
% pinus	0,0893	0,004	1,054	20,416	<0,001
TXR	-11,401	1,153	-0,442	-9,887	<0,001
% eucalipto	0,0259	0,004	0,306	6,014	<0,001
TUcolchão	-0,448	0,195	-0,102	-2,302	0,024

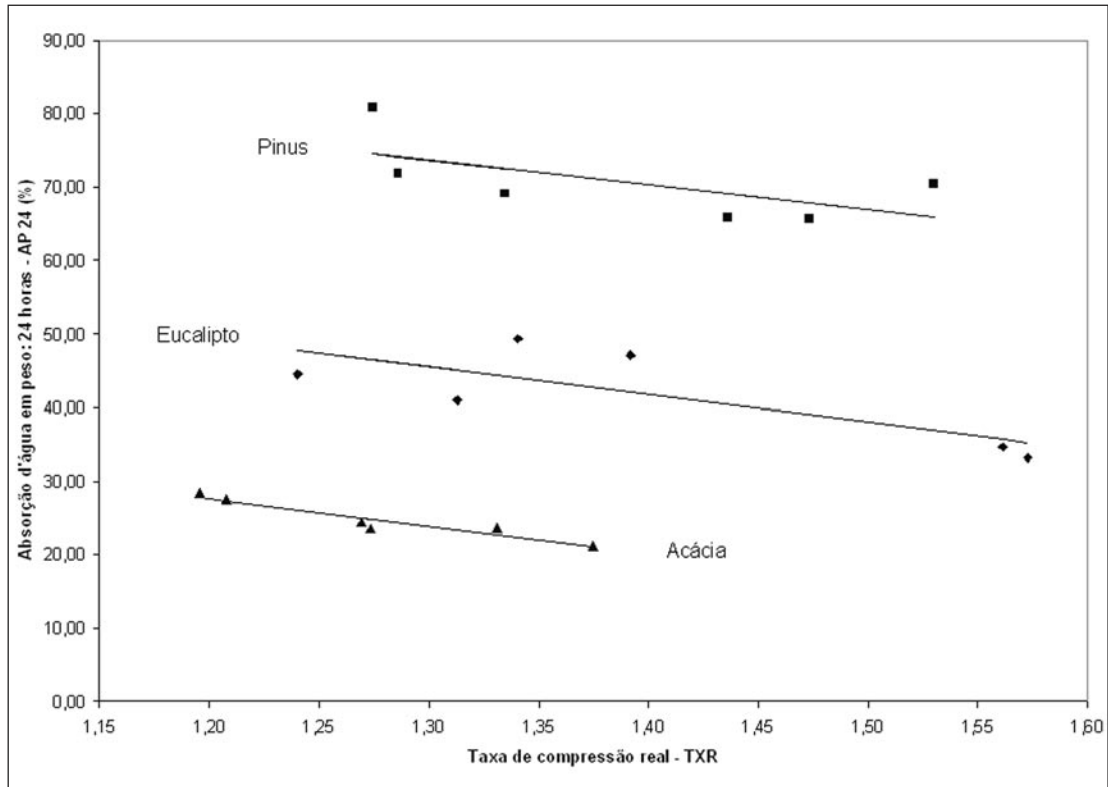


Figura 4

Absorção d'água 24 horas (AP 24), observada e ajustada em função da taxa de compressão real (TXR), para chapas produzidas com cada espécie individualmente.

(Water absorption 24 hours vs. real compression ratio, for flakeboard made each individual species)

A variável de maior influência sobre todas as propriedades de estabilidade dimensional foi a proporção de cada espécie de madeira utilizada, independente da densidade básica da mistura (Dm), da densidade básica da chapa (Db) e da taxa de compressão (TXC) utilizada no processo produtivo. De um modo geral, as chapas de pinus apresentaram resultados insatisfatórios quanto ao inchamento em espessura e absorção d'água; as de eucalipto, quanto à absorção d'água; e as de acácia satisfizeram as duas condições.

A influência de outras características inerentes à espécie de madeira, além da densidade básica da mistura (Dm), foi muito superior a esta e às variáveis de produção. Este fato é confirmado pela alta correlação da proporção de pinus na mistura com as variáveis de estabilidade dimensional.

Na análise do comportamento de cada es-

pécie, individualmente, enquanto os valores de inchamento em espessura (IE 2 e IE 24) aumentam com o crescimento da taxa de compressão (TXR) para pinus, mantêm-se estáveis para eucalipto e diminuem para acácia. No caso de absorção d'água (AP 2 e AP 24), há uma diminuição com aumento da TXR para as três espécies. Por isto, quando consideramos todas as combinações de espécies, a inclusão da TXR no modelo para estimativa de inchamento em espessura é não significativa. Por outro lado, para absorção d'água, a inclusão da TXR no modelo matemático aumenta a precisão da estimativa.

Assim, pode-se confirmar que, quando se considera inchamento em espessura em função da absorção d'água, existe um componente que eleva o inchamento acima dos valores esperados (Suchsland (1973; Haselein, 1989). Este aumento

deve estar está relacionado com a liberação de esforços de compressão, que gerados durante o processo de prensagem, se fazem sentir com maior intensidade para chapas fabricadas com pinus, em menor escala para eucalipto e muito pouco para acácia. Para esta espécie, praticamente, não há diferença de comportamento entre IE e AP, em função da taxa de compressão real (TXR).

CONCLUSÕES

A variável que apresentou maior influência sobre inchamento em espessura foi a proporção de pinus, devido a esta espécie ter apresentado os maiores valores de inchamento após 2 horas e 24 horas de imersão em água. Na análise das chapas fabricadas com cada espécie individualmente, o aumento da taxa de compressão provocou aumento do inchamento em espessura para pinus, diminuição para acácia e não apresentou influência para eucalipto.

Para absorção d'água houve influência da proporção de pinus, das proporções de eucalipto ou acácia devido serem dependentes, da taxa de compressão e do teor de umidade do colchão. Neste caso, na análise individual, o aumento da taxa de compressão provocou diminuição da absorção d'água para as três espécies estudadas.

Estes resultados permitem observar a existência de um valor de inchamento em espessura acima dos esperados em função da absorção d'água para chapas fabricadas com pinus e eucalipto.

Para chapas fabricadas com madeira de acácia, a absorção d'água (AP) e o inchamento em espessura (IE) apresentaram os menores valores. Este fato pode ser explicado pela maior densidade destas chapas e, conseqüente, maior quantidade de adesivo aplicada. Por outro lado, somente para esta espécie as variáveis AP e IE seguem o mesmo modelo de comportamento em função da taxa de compressão.

AUTORES

ÉVERTON HILLIG é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia e Informática - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidade de

Caxias do Sul - Av. João Dal Sasso, 800 – Bento Gonçalves, RS - 95700-000 – E-mail: EHillig@ucs.br

CLOVIS ROBERTO HASELEIN é Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais - Centro de Ciências Rurais - Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria, RS - 97015-900 – E-mail: haselein@ccr.ufsm.br

ELIO JOSÉ SANTINI é Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais - Centro de Ciências Rurais - Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria, RS - 97015-900 – E-mail: santinie@ccr.ufsm.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERS, L.E. **Particle board and hardboard**. London: Balckie, 1966. v.4, 172p.
- ALBERTO, M.M.M.; KEINERT JUNIOR, S. Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”: parte 2- efeitos sobre a estabilidade dimensional. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p.618-623
- ANDERSEN, A.W.; TROUGHTON, G.E. New phenolic formulations for bonding higher moisture content OSB panels. **Forest products journal**, v.46, n.10, p.72-76, 1996.
- ANDERSON, A.B. Bark extracts as bonding agent for particleboard. In: AMERICAN CHEMICAL SOCIETY SYMPOSIUM SERIES WOOD TECHNOLOGY: CHEMICAL ASPECTS, 43, 1977. **Proceedings**. p.235-242
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**. Philadelphia, 1995. (Norma D 1037-93)
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**. Philadelphia, 1995. (Norma D 143-94)
- CARLYLE A.A.; MCGEE, L.B.; MCLEAN, R.A. **Wood particle board handbook**. Raleigh: North Carolina University Press, 1956. 303p.
- FECHTAL, M.; RIEDL, B. Use of *Eucalyptus* and *Acacia mollissima* bark extract-formaldehyde adhesives in particleboard manufacture. **Holzforschung**, v.47, n.4, p.349-357, 1993.
- GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKI, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.
- GEIMER, R.L.; HERIAN, V.L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. **Wood and fiber science**, v.29, n.2, p.103-120, 1997.
- GERMAN STANDARDS COMMITTEE. DEUTSCHEN NORMAUSCHUSS. **Specifications for particleboard**. Holz, 1971. (DIN 68761 (1) – 1961 (3)).

- HALLIGAN, A.F. A review of thickness swelling in particleboard. **Wood science and technology**, v.4, n.4, p.301-312, 1970.
- 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.)**. Viçosa, 1989. 75p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.
- HILLIG, É. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. Santa Maria, 2000. 96p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria
- HILLIG, É.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência florestal**, v.12, n.1, p.59-70, 2002.
- HSE, C.Y.; GEIMER, R.L.; HSU, E.W.; TANG, R.C. Effect of resin type on properties of steam-press-cured flakeboards. **Forest products journal**, v.45, n.1, p.57-62, 1994.
- IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M.P.; SEVERO, E.T.D.; RINCOSKI, C.R.; BORTOLETTO JR., G.; PIO, N.S. 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: 2- wood based materials**. New York: Springer-Verlag, 1975. 703p.
- MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 2v.
- NIEKERK, I.A.; PIZZI, A. Characteristic industrial technology for exterior *Eucalyptus* particle board. **Holz als roh und werkstoff**, v.52, n.2, p.109-112, 1994. (Resumo publicado no Forest Products Abstracts, 1994).
- 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 Research Institute**, v.39, n.3, p.85-89, 1981. (Resumo publicado no Forest Products Abstracts, 1982).
- ROQUE, C.A.L. **Painéis de madeira aglomerada**. Rio de janeiro: BNDES, 1998. <http://www.bndes.gov.br>
- 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. 12p.
- STORCK, L.; LOPES, S.J. **Experimentação 2**. 2.ed. Santa Maria: UFSM/CCR/ Departamento de Fitotecnia, 1998. 205p.
- SUCHSLAND, O. Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards. **Forest products journal**, v.23, n.7, p.26-30, 1973.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington: U.S. Government Printing Office, 1987. 466p.
- VALENÇA, A.C.V. et al. Painéis de madeira aglomerada. **Revista da madeira**, v.8, n.48, p.14-19, 1999.
- VICK, C.B.; GEIMER, R.L.; WOOD JUNIOR, J.E. Flakeboards from recycled CCA-treated southern pine lumber. **Forest products journal**, v.46, n.11/12, p.89-91, 1996.
- VITAL, B.R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. Madison, 1973. 111p. Tese (Mestrado). School of Forestry Science. University of Wisconsin