

FERNANDO NUNES GOUVEIA

**PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB) A PARTIR
DAS ESPÉCIES *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN
E *Pinus elliottii* ENGELM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA - MINAS GERAIS
BRASIL
2001

FERNANDO NUNES GOUVEIA

**PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB) A PARTIR
DAS ESPÉCIES *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN
E *Pinus elliottii* ENGELM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de julho de 2001.

Eng. Ana Márcia M. L. Carvalho

Pesq. Marcos Antonio E. Santana
(Conselheiro)

Eng. José Tarcísio da Silva Oliveira

Prof. Ricardo Marius Della Lucia

Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Às mulheres que durante toda a minha vida foram exemplo vivo de harmonia, dedicação, responsabilidade e união.

A Tia Glória, Tia Maura, Tia Sara e Dona Elza, minha mãe.

Dedico.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, fonte de todo o bem e toda a sabedoria, e ao meu bom anjo da guarda, que sempre está a me guiar e proteger.

A minha família, em especial à minha mãe, que tanto sofreu com minha ausência.

A Flávia Regina, minha namorada, pelo apoio decisivo e pelo incentivo constante para que eu realizasse este curso.

Ao Prof. Benedito Rocha Vital, meu orientador, por sua paciência, ajuda, compreensão e dedicação.

Ao Dr. Marcos Santana, meu conselheiro, por mais uma vez ter me orientado, e por sua dedicação em ajudar na minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual este trabalho não aconteceria.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Prof. Alexandre, Aristeu, Chiquinho, *Seu Ézio*, *Seu Maninho* e Ritinha, que tanto colaboraram para o sucesso desta dissertação.

Aos amigos do curso de mestrado, Adalberto Miranda, Antônio Maciel, Crístian Bacelar, Pedro Serpa e Rosana “Sherman”, pelo companheirismo e pela ótima acolhida a este forasteiro.

Aos amigos do Laboratório de Produtos Florestais, Anne, Dionísio, Donizete, Eudes, Fernando Dorta, Getúlio, Hélio, Hugolino, João Anacleto, João Francisco, Júlio César, Lopes, Lula, Mauro, Mário Rabelo, Mário Siqueira, Sérgio e Dona Severina, pela ajuda e pelo companheirismo.

Aos amigos Cláudio Del Menezzi, Mário Rabelo e Viviane Brandão, pela ajuda na análise estatística.

À Alba Química, na pessoa do Sr. Mário Andrade, por ter cedido o adesivo para a fabricação das chapas que serviram de base para este trabalho.

À Weyerhaeuser, na pessoa do Sr. Colin Dzenick, por ter enviado as amostras de painéis OSB, utilizadas como testemunha neste experimento.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste documento, fica o meu MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

FERNANDO NUNES GOUVEIA, filho de Bolívar Martins Gouveia e Elza Nunes Gouveia, nasceu em São Joaquim da Barra, São Paulo, em 23 de julho de 1974.

Ainda criança mudou-se para o Distrito Federal, onde, no ano de 1999, graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade de Brasília.

Nesse mesmo ano iniciou, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, o curso de Mestrado em Ciência Florestal.

Em julho de 2001, submeteu-se aos exames de defesa de tese, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Espécies utilizadas	4
2.2. Painéis de madeira	5
2.3. <i>Oriented strand board</i>	5
2.3.1. Definição	5
2.3.2. Histórico	6
2.3.3. Características	6
2.3.4. Utilizações	7
2.3.5. Situação atual e tendências	8
2.4. Alinhamento de partículas	9
2.5. Propriedades físicas	10
2.5.1. Densidade	10
2.5.2. Teor de umidade	10
2.5.3. Geometria das partículas	11
2.5.4. Absorção de água	11
2.5.5. Inchamento em espessura	11
2.5.6. Expansão linear	12
2.6. Propriedades mecânicas	13
2.6.1. Módulo de ruptura e módulo de elasticidade	13
2.6.2. Tração perpendicular ao plano da chapa (ligação interna)	14

2.7. Adesivos e aditivos	14
2.8. Mistura de espécies	16
	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Espécies utilizadas	18
3.2. Preparação dos <i>strands</i> e do adesivo	18
3.3. Confeção das chapas	20
3.4. Desenho do experimento	20
3.5. Confeção dos corpos de prova	21
3.6. Testes físicos	22
3.7. Testes mecânicos	23
3.8. Análise estatística	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Influência da proporção entre espécies e da taxa de adesivo ...	24
4.2. Influência da estrutura do colchão	37
5. RESUMO E CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICE	56

RESUMO

GOUVEIA, Fernando Nunes, M. S. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2001.
Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) a partir das espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm. Orientador: Benedito Rocha Vital. Conselheiros: Alexandre Santos Pimenta e Marcos Antonio Eduardo Santana.

Este trabalho foi dividido em duas etapas: na primeira, painéis OSB foram fabricados com cinco diferentes proporções de misturas entre as partículas de *Eucalyptus grandis* (*Euc*) e *Pinus elliottii* (*Pin*). Os tratamentos avaliados foram: A, 100% *Euc*; B, 75% *Euc* / 25% *Pin*; C, 50% *Euc* / 50% *Pin*; D, 25% *Euc* / 75% *Pin*; E, 100% *Pin*. Na segunda etapa, a proporção entre as espécies foi fixada em 50% e a estrutura do colchão foi alterada, sendo delineados três tratamentos: C, de camadas indistintas; F, formado exclusivamente por partículas de *Eucalyptus grandis* na face do colchão; e G, formado unicamente com madeira de *Pinus elliottii* na face. Outra variável avaliada foi a taxa de adesivo: os tratamentos foram aglutinados com 4%, 6% e 8% de sólidos resinosos sobre o peso seco das partículas de um adesivo fenólico com viscosidade de 350 cps, pH 12,15 e 47,63% de sólidos. Foi utilizada parafina em emulsão, na quantidade de 1% em relação ao peso seco das partículas. Para os sete tratamentos, foram feitas 3 repetições, totalizando 63 chapas. As chapas foram submetidas aos testes de flexão estática, ligação interna, arranque de parafuso, expansão linear, inchamento em espessura e absorção de água, obedecendo aos critérios da norma ASTM D 1037-91. Os melhores resultados foram obtidos para as chapas fabricadas com 6 e com 8% de adesivo; porém, a maioria dos resultados obtidos com painéis produzidos com 4% de adesivo foi superior ao mínimo

exigido pela norma CSA O437-93. Os painéis fabricados com 50% de cada espécie alcançaram valores satisfatórios. Nenhum tratamento teve êxito ao ser avaliado para inchamento em espessura; entretanto, todos foram aprovados no teste de expansão linear. Não houve diferença estatística entre as estruturas de colchão avaliadas.

ABSTRACT

GOUVEIA, Fernando Nunes, M. S. Universidade Federal de Viçosa, July, 2001.
Production of oriented strand boards from the species *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden and *Pinus elliottii* Engelm. Adviser: Benedito Rocha Vital. Committee Members: Alexandre Santos Pimenta and Marcos Antonio Eduardo Santana.

This work has been divided into two steps: in the first one, OSB was produced from five mixtures of *Eucalyptus grandis* (*Euc*) and *Pinus elliottii* (*Pin*). The treatments evaluated were: A: 100% *Euc*, B: 75% *Euc* / 25% *Pin*, C: 50% *Euc* / 50% *Pin*, D: 25% *Euc* / 75% *Pin*, E: 100% *Pin*. In the second step, the parcel of each specie was set in 50% and the mat structure was modified, so that three treatments were designed: C, with indistinct layers; F, with only *Eucalyptus grandis* in the mat faces; and G, with only *Pinus elliottii* in the mat faces. A phenolic resin containing 47,63% of total solids, pH of 12,15 and viscosity of 350 cps was used as an adhesive, with three levels of 4%, 6% and 8% of resin solids based on the oven-dry weight of particles. One per cent of wax emulsion was also added. Each treatment was replicated three times. Sixty-three boards were produced. The following properties were determined: static bending (MOR and MOE), internal board, screw withdrawal, thickness swelling, water absorption and linear expansion, following the ASTM D 1037-91 procedures. In general, the best results were observed on boards made with 6 and 8% of resin. But most treatments carried out with 4% of adhesive achieved the mechanic tests requirements of the CSA O437-93 standard. The best results were observed on boards fabricated with 50% of each species. No treatment was successful in

thickness swelling. On the other hand, all treatments showed satisfactory results in linear expansion. No statistical difference has been found between the mat structures evaluated.

1. INTRODUÇÃO

A chapa de partículas orientadas ou OSB (*oriented strand board*) é um tipo de chapa de composição relativamente recente, em comparação com a chapa de partícula tradicional, o aglomerado, cuja produção no Brasil teve início em 1940. Entretanto, a idéia de orientar as partículas que formam as chapas não é tão recente assim. Segundo SOUZA (1991), no ano de 1946, em Palo Alto, Califórnia, o pesquisador Armin Elmendorf inventou um tipo de chapa tão resistente quanto o compensado, fabricada a partir de partículas finas e alongadas, utilizando espécies de madeiras tidas como secundárias: o OSB. Contudo, esses painéis só começaram a ser produzidos comercialmente, no Canadá, no início da década de 80, substituindo os painéis *waferboard*.

Devido ao modo como são produzidos, os painéis OSB apresentam boas propriedades mecânicas, quando comparados com outros painéis estruturais. Aliando essas características ao tipo de matéria-prima exigida no processo de fabricação, esses painéis conquistaram grande parte do mercado, principalmente o de embalagens e o da construção civil, antes dominados exclusivamente pelos compensados.

A capacidade de produção norte-americana está em contínuo crescimento. O setor de OSB está em expansão desde 1990, quando a produção era de 710 milhões de m². A produção aumentou em 12% em 1998 e 2% no ano de 1999. Já o setor de compensados, nos Estados Unidos e no Canadá, está em declínio há mais de uma década: apresentou queda de 2% em 1999, quando produziu 1,79 bilhões de m² (HADDOX, 1999).

Ainda segundo HADDOX (1999), a demanda por painéis OSB na América do Norte teve aumento de 278 milhões de m² em 1998. Seu uso ficou dividido nos seguintes setores: aplicações residenciais (51%), reformas (21%), aplicações industriais (19%) e usos não residenciais (10%).

O potencial de exportação dos painéis OSB é amplo. A construção de novas habitações representa 1/3 do consumo anual de madeira serrada e painéis de madeira do mercado norte-americano. Em 1999, o número de casas e *mobile homes* que começaram a ser construídas totalizou 2.000.024 unidades. Para suprir essa demanda, os Estados Unidos importaram, no mesmo ano, 747.000 m³ de painéis OSB (HOWARD, 2000).

Na Alemanha, a indústria de painéis, após muito tempo se dedicando à fabricação de chapas exclusivamente para a indústria moveleira, ainda não conseguiu suprir a demanda por painéis estruturais surgida recentemente no país devido ao crescimento do número de construções habitacionais. No ano de 1999, a Alemanha importou 160.000 m³ de OSB (RESCHOP, 1999).

No Brasil, a produção de painéis à base de madeira, no ano de 1999, foi de aproximadamente 3,1 milhões de m³, sendo que 45,05% desse total foi exportado, favorecendo a balança comercial em 475 milhões de dólares. Em meados de 1990, o Brasil exportou 21,64% de sua produção, o que representou 593.500 m³ de painéis, e obteve 217 milhões de dólares. (FAO, 2000). A partir desses valores é possível verificar a importância que o setor de painéis de madeira tem na economia nacional. Entretanto, esse setor está aquém de seu potencial, pois o país até o momento não exporta painéis MDF (painéis de fibra de média densidade), e a primeira fábrica de OSB do país deverá entrar em funcionamento somente em dezembro de 2001.

O OSB é um produto competitivo, com propriedades satisfatórias e ampla aceitação no mercado. Mesmo assim, de acordo com CLOUTIER (1998), a indústria de OSB vem procurando melhorar a qualidade de suas chapas, com a realização de diversas pesquisas visando a:

- Melhoria da estabilidade dimensional (expansão linear e inchamento em espessura);
- Melhoria da qualidade do acabamento superficial;
- Aumento da proteção contra xilófagos e fogo;

- Análise do comportamento mecânico do painel durante a prensagem a quente, por meio de modelos matemáticos.

Outra preocupação da indústria é quanto ao limitado grupo de espécies que vem sendo utilizado.

O início da produção comercial de OSB ocorreu na região dos Grandes Lagos, no Canadá, notória por sua abundância em madeira de *aspen* (*Populus spp.*). Todavia, a indústria se expandiu por quase toda a América do Norte e por outros continentes. Outras espécies foram e continuam sendo pesquisadas para utilização como matéria-prima na indústria de OSB. (WANG & WINISTORFER, 2000).

Ainda segundo esses autores, são muitos os trabalhos publicados descrevendo a utilização de diferentes espécies e diferentes misturas na fabricação de chapas de composição. A premissa básica de todas essas pesquisas tem sido o fato de que as chapas de partículas orientadas podem ser produzidas utilizando outras espécies, misturas de espécies ou diferentes estruturas de camadas.

Esta dissertação de mestrado visa dar continuidade à construção do conhecimento científico sobre a fabricação de painéis OSB, sendo seus objetivos:

- Avaliar as propriedades físico-mecânicas de chapas de partículas orientadas (OSB) produzidas a partir de diferentes proporções de misturas e estruturas de composição das espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*;
- Avaliar três taxas de aplicação de resina fenólica na fabricação de chapas OSB;
- Comparar as chapas produzidas em laboratório com uma chapa comercializada no mercado norte-americano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Espécies utilizadas

De modo geral, qualquer espécie arbórea com densidade entre 0,40 e 0,60 g/cm³ pode ser empregada para a fabricação de OSB. Assim, as madeiras de eucalipto, especialmente aquelas de baixa densidade, são adequadas para a produção de chapas de partículas (FAO, 1981). Ainda segundo a FAO, a madeira de *Eucalyptus grandis* é uma das mais leves entre as espécies de eucalipto. Ela é usada extensivamente na Austrália para a construção de casas quando a madeira é cortada de árvores maduras; já as árvores jovens são serradas para produção de caixas de frutas. A madeira, normalmente, apresenta empenamento após o processo de secagem, principalmente quando é obtida de árvores de rápido crescimento. É uma das espécies de eucalipto com resultados consideráveis na indústria de chapas de partículas.

Segundo COSTA (1996), *Eucalyptus grandis* é uma das espécies mais promissoras para fins industriais no Brasil, pois possui a maior área plantada dentre as espécies comerciais, trata-se da espécie mais difundida no país em plantios comerciais, possui a maior disponibilidade imediata de florestas em idade de corte e caracteriza-se por ter madeira leve e de boa resistência mecânica.

Outra espécie com bom potencial para a indústria de painéis é *Pinus elliottii*, cuja madeira tem densidade média em torno de 0,55 g/cm³ (TSOUMIS, 1991).

Pinus elliottii é uma das espécies preferidas para a fabricação de OSB na América do Norte (WANG & WINISTORFER, 2000).

2.2. Painéis de madeira

Em meados de 1920, foram feitas tentativas, sem sucesso, para fabricar chapas de partículas nos Estados Unidos. O fracasso ocorreu devido à falta de adesivos adequados, pois os que existiam, feitos a partir de peles de animais, eram impróprios para a produção industrial e economicamente inviáveis. Novas técnicas desenvolvidas nos anos 30 possibilitaram a fabricação de chapas pelas indústrias, no início da década de 40. A primeira indústria a produzir chapas de partículas com resinas sintéticas surgiu em 1941 em Bremen, Alemanha, utilizando madeira de *spruce* (*Picea* sp.) e adesivos fenólicos (MOSLEMI, 1974).

Após o término da Segunda Guerra Mundial, a fabricação de chapas sofreu considerável estagnação, devido, em grande parte, às dificuldades na obtenção de adesivos, bem como de madeira. Em 1949, com o desenvolvimento da produção de resinas sintéticas, a fabricação de chapas aglomeradas foi reativada, notando-se o interesse dos fabricantes de máquinas para o setor (cortadores de partículas, peneiras, prensas hidráulicas). Em 1952, surgiram, na Alemanha, as primeiras chapas destinadas à indústria moveleira, e, desde 1958, a produção mundial de aglomerado vem crescendo, a partir do desenvolvimento de novas técnicas e produtos (CARNOS, 1988).

2.3. Oriented strand board

2.3.1. Definição

De acordo com a STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION (1994), OSB é um painel estrutural composto de partículas, normalmente de espécies como: *aspen* (*Populus tremuloides*), *poplar* (*Liriodendron tulipifera*) e *southern yellow pine* (*Pinus* spp.), podendo também ser feito a partir de uma mistura de outras madeiras. As partículas são cortadas das toras observando-se a direção da grã, para que a resistência natural da árvore seja mantida no painel. Depois de cortadas, as partículas são secadas e aglutinadas com uma resina tipo exterior. É formado um colchão com 3 ou 5 camadas, o qual é prensado sob alta temperatura, formando um rígido e denso painel estrutural. A orientação do colchão pode ser feita de duas maneiras: na primeira, força-se a passagem das partículas por um conjunto de discos giratórios alinhados paralelamente, o que promove sua orientação,

graças ao seu formato alongado; na segunda, as partículas são submetidas a um campo elétrico, proporcionando assim sua orientação.

2.3.2. Histórico

Os painéis tipo OSB estão no mercado desde o início dos anos 80, e seu antecessor, o *waferboard*, foi produzido inicialmente, em escala comercial, em 1962 pela Wisewood Corporation, com apoio do governo canadense, em Saskatchewan, cidade localizada na Baía de Hudson. Contudo, devido à pressão dos fabricantes de compensado, a comercialização do *waferboard* ficou comprometida, fazendo com que a Wisewood vendesse seus painéis apenas para fazendeiros próximos a Saskatchewan. Em 1963, a fábrica foi vendida para a MacMillan Bloedel Ltda., um grande grupo fabricante de produtos florestais, que reativou a fábrica lançando nos mercados da região central do Canadá o “aspenite”, um painel *waferboard* mais barato que os compensados canadenses. Muitos celeiros, depósitos e cercas estão em uso até hoje, sendo uma forte evidência da durabilidade desses *waferboards* e de sua classificação para uso exterior (CLOUTIER, 1998; JANSSENS, 1998; LOWOOD, 1995).

Em 1978, a Associação Americana de Compensado (APA) anunciou que a norma que regia seus produtos, a PRP 108, estava associada ao Código Modelo para Construção, tal como a norma PS2-92, o que possibilitaria a utilização de seus produtos como painéis de uso estrutural. Ao mesmo tempo, companhias de equipamentos para a indústria madeireira desenvolveram o alinhamento na superfície dos *wafers*, o que aumentou a resistência mecânica desses painéis, fazendo com que alcançassem os valores estipulados na norma PRP 108 e tivessem, ainda, custos reduzidos. Assim surgiu, comercialmente, o painel de partículas orientadas – OSB (LOWOOD, 1995).

2.3.3. Características

As diferenças básicas entre os OSB e os *waferboards* são primeiramente o tamanho das partículas. Os *wafers* são mais curtos e mais largos (40 mm de largura por 40 mm de comprimento) que os *strands* (25 mm de largura por 80 a 150 mm de comprimento). A outra diferença está na formação do colchão: no *waferboard*, as

partículas não obedecem a uma direção clara, são aleatórias. Já no OSB as partículas são direcionadas em um mesmo sentido (JANSSENS, 1998).

De acordo com NAHUIZ & WATAI (1998), os painéis de partículas orientadas (OSB) foram dimensionados para suprir uma característica demandada, e não encontrada, tanto na madeira aglomerada tradicional quanto nas chapas MDF (painéis de fibra de média densidade): a resistência mecânica, exigida para fins estruturais. A resistência desses painéis a flexão estática é alta, não tanto quanto a da madeira sólida original, mas tão alta quanto a dos compensados estruturais, os quais substituem perfeitamente. Seu custo é menor por não necessitar de toras de grande diâmetro. Não admite a incorporação de resíduos ou "finos", como no caso dos aglomerados.

De acordo com a STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION (1996), os adesivos fenólicos são os mais utilizados na fabricação de OSB. São extremamente resistentes à água e não são degradados na presença de umidade. Uma vez prensados, os painéis apresentam baixos níveis de fenol e formaldeído livres, sendo considerados completamente seguros para serem utilizados, queimados ou enterrados. Por conseguinte, a serragem, o pó ou as cinzas de OSB podem ser considerados resíduos inofensivos à saúde.

2.3.4. Utilizações

Em utilizações estruturais, é necessário que os compostos de madeira possuam propriedades mecânicas que se assemelhem às da madeira maciça. Painéis estruturais como o OSB fazem uso do alinhamento das partículas para alcançar tais propriedades (SHALER, 1991).

Os painéis OSB têm tido aplicações exteriores, principalmente no setor habitacional. Nos EUA, a construção de casas apresenta características de uso intenso de madeira serrada e de painéis, especialmente em paredes internas e externas, pisos e forros. Nesses usos, os painéis OSB têm tido desempenho satisfatório. Mais recentemente, esses produtos vêm tendo também aplicações industriais, em que resistência mecânica, trabalhabilidade, versatilidade e valor fazem deles alternativas atraentes em relação à madeira sólida. Entre esses usos, estão: mobiliário industrial,

estruturas de móveis, embalagens, *containers* e vagões (DOYLE, 1996, e PEASE, 1994, citados por NAHUZ & WATAI, 1998).

Os painéis de partículas orientadas são empregados extensivamente no interior de residências, como paredes, divisórias estruturais e até mesmo como contra-piso (GROSSMAN, 1992).

2.3.5. Situação atual e tendências

A Associação de Chapas Estruturais (SBA), entidade responsável pela popularização dos painéis OSB, gerencia por ano uma verba de 1,4 milhões de dólares em seu programa de pesquisa, que envolve três grandes empresas do setor e nove universidades (LOWOOD, 1995). Inicialmente, o programa preocupava-se em resolver as necessidades primárias do mercado quanto ao OSB, tais como inchamento e espessura, melhoria na qualidade do acabamento superficial, grau de resistência dos painéis contra o ataque de organismos xilófagos e gerenciamento da produção. Em seguida, outros projetos foram iniciados visando melhorar os processos de produção, como: otimização dos parâmetros de prensagem e obtenção de partículas; aumento do alinhamento na chapa; determinação de um nível ótimo para a distribuição de adesivos e parafinas; diminuição da poluição e utilização de diferentes espécies de madeira. O resultado dessas pesquisas e das atividades promocionais desenvolvidas pela SBA foi o rápido reconhecimento dos painéis OSB em todo mundo, pois:

- OSB é um painel de madeira estrutural, aprovado por normas nos Estados Unidos e Canadá;
- Recentemente, foi reconhecido como um painel de uso estrutural por normas no Japão e na Europa;
- Vem tendo crescente aceitação como painel de uso industrial na maioria dos países industrializados.

Da mesma forma, as opções para o mercado de OSB são crescentes, já que:

- Pode utilizar matéria-prima oriunda de povoamentos jovens;
- Possui preço competitivo;
- Gera pequena quantidade de resíduos;

- Suas propriedades são semelhantes às do compensado.

Com o mercado de OSB em expansão, esse painel vem sendo cada vez mais utilizado; porém, como é um composto de madeira, é susceptível ao ataque de fungos e insetos. Essa característica o impede de ser empregado em condições que demandem alta durabilidade. Produtos preservativos como o CCA, o pentaclorofenol e o creosoto são utilizados para aumentar a vida útil da madeira; entretanto, devido à alta toxicidade, seu uso em linhas de produção de painéis é inaceitável. Produtos como o borato de zinco, que causa pequeno impacto ambiental, vêm sendo estudados para aumentar a durabilidade dos painéis OSB e, assim, favorecer seu uso em regiões onde a ação de xilófagos é intensa (SEAN et al., 1999).

2.4. Alinhamento de partículas

Os primeiros trabalhos sobre a influência do alinhamento das partículas nas propriedades dos compostos de madeira sugeriam a utilização de campos eletrostáticos como forma de alinhamento (Von Klaudivitz et al., 1960, citados por ZAUSCHER & HUMPHREY, 1997).

ZAUSCHER & HUMPHREY (1997) estudaram a utilização de campos magnéticos como forma de controlar a orientação das partículas. O uso dessa metodologia apresenta certas vantagens em relação ao emprego de campos eletrostáticos:

- Não sofre os efeitos de polarização que ocorrem nos campos eletrostáticos;
- Não apresenta riscos de incêndio devido a descargas;
- Não interage com o teor de umidade das partículas;
- Campos magnéticos muito fortes podem ser mantidos, ao contrário dos elétricos, que entram em colapso após uma sobrecarga.

Todavia, as partículas necessitam ser modificadas magneticamente com níquel, para responderem eficientemente ao processo.

O alinhamento das partículas em compostos estruturais visa ao aumento da resistência e da rigidez do painel produzido, em uma determinada direção. A magnitude desses valores é função do grau de alinhamento (SHALER, 1991). O alinhamento das

partículas melhora as propriedades mecânicas e dimensionais das chapas, no sentido paralelo à orientação. A resistência à flexão estática dos painéis orientados pode superar, em até duas vezes e meia, a dos painéis não orientados (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

2.5. Propriedades físicas

2.5.1. Densidade

Dentre as propriedades das chapas de partículas, a densidade aparece como sendo a mais importante, pois se correlaciona com todas as outras, exceto a expansão linear (SHULER & KELLY, 1976; HAYGREEN & BOWYER, 1982). Os dois fatores que influenciam a densidade das chapas são a densidade da matéria-prima e a taxa de compressão do colchão (KELLY, 1977). MALONEY (1993) indica o valor de taxa da compressão de 1,3 como padrão para se obterem chapas de média densidade com qualidade.

XU & SUCHSLAND (1998) mostraram, em sua simulação, que chapas orientadas com apenas uma camada de partículas de madeira de alta densidade obtiveram valores de MOE superiores aos de chapas com madeira de baixa densidade, quando a taxa de compressão para os dois tipos de chapas foi o mesmo. Porém, quando a densidade da chapa é a mesma, os valores de MOE são inferiores.

2.5.2. Teor de umidade

Convencionalmente, as partículas utilizadas na produção de OSB possuem baixo teor de umidade após a aplicação do adesivo, o que diminui sua plasticidade, tornando-os mais resistentes à densificação. Devido à grande força aplicada nas partículas durante a prensagem, sua estrutura celular (paredes celulares) é danificada. Em consequência disso, há uma redução nas propriedades das chapas fabricadas, como por exemplo menor resistência à ligação interna e maior inchamento em espessura (PICHELIN et al., 2000). Nesse mesmo trabalho, os autores fabricaram painéis OSB utilizando partículas com teor de umidade entre 20 e 30% e um adesivo à base de tanino, capaz de curar mesmo com alto teor de umidade. Os resultados obtidos foram satisfatórios, quando

comparados aos de painéis produzidos a partir de partículas com menor teor de umidade e adesivos de melamina, uréia e fenol-formaldeído. A combinação de alta temperatura e alto teor de umidade no colchão, durante a prensagem, favorece a plastificação da madeira, reduzindo os danos nas paredes celulares durante a densificação do colchão.

O aumento no teor de umidade de chapas produzidas com fenol-formaldeído diminui a resistência a flexão estática, em ambas as direções dos painéis OSB (WU & SUCHSLAND, 1997).

2.5.3. Geometria das partículas

Na produção de chapas, são utilizadas partículas de diferentes geometrias. Painéis feitos com *flakes* alongados aumentam a resistência a flexão, enquanto *flakes* curtos e espessos apresentam valores elevados para ligação interna. *Flakes* longos e finos melhoram a estabilidade dimensional (BRUMBAUGH, 1960). HOOVER et al. (1992), avaliando duas espessuras de partículas (0,64 e 0,38 mm), encontraram valores de resistência estatisticamente superiores nas chapas feitas com partículas mais espessas.

Para uma mesma concentração de adesivo, painéis fabricados com *strands* apresentam maior estabilidade dimensional do que aqueles fabricados com *flakes* (Turner, 1954, citado por KELLY, 1977).

2.5.4. Absorção de água

As chapas de partículas são materiais higroscópicos; logo, variam em dimensões de acordo com as mudanças no teor de umidade, seja em contato direto com água ou com vapor d'água (VITAL et al., 1980).

2.5.5. Inchamento em espessura

O inchamento em espessura (IE) é, talvez, o fator mais importante quando se consideram os efeitos da umidade. Pode ser afetado por outras variáveis como espécie da madeira, geometria da partícula, densidade da chapa, nível de adesivo, eficiência de colagem e condições de prensagem (HALLIGAN, 1970), porém a mais importante é a absorção de água (VITAL et al., 1980).

Enquanto a expansão no plano da chapa é meramente um problema dimensional, o inchamento em espessura das chapas de partículas é um fenômeno mais sério e complexo, porque exerce um efeito de deterioração nas outras propriedades físicas e mecânicas das chapas (SUCHSLAND, 1973).

Quanto maior a quantidade de água absorvida, maior o inchamento em espessura. Como a absorção de água diminui com o aumento da taxa de compressão, e o inchamento em espessura é determinado em grande parte pela absorção de água, pode-se supor que o aumento no inchamento em espessura, causado pelo acréscimo na taxa de compressão, esteja associado à liberação de esforços de compressão gerados durante o processo de prensagem (HASELEIN et al., 1989).

O inchamento em espessura é a soma de dois componentes: o inchamento recuperável, devido à reação da madeira ao contato com a umidade, e o inchamento irre recuperável, devido à liberação das forças de compressão durante o processo de prensagem. A liberação dessas forças acontece com alto teor de umidade, e essa parte do inchamento não recupera quando a chapa retorna a seu estado seco. O não-retorno ou inchamento em espessura residual é chamado *springback* (HALLIGAN, 1970; WU & PIAO, 1999). Esse fenômeno é indesejado por várias razões. A primeira, e óbvia, é o aumento permanente da espessura da chapa, influenciando negativamente na tolerância ao inchamento. Outro motivo seria a perda gradual da estrutura do painel, resultando na diminuição da resistência mecânica e na degradação da aparência superficial (MOSLEMI, 1974).

MCNATT et al. (1992), avaliando oito tipos de composição para chapa, comprovou a não-influência do alinhamento das partículas no inchamento em espessura, fato também observado por GEIMER (1982).

2.5.6. Expansão linear

A expansão linear é influenciada diretamente pela absorção de água e pelo inchamento em espessura do painel (BRUMBAUGH, 1960). Segundo o mesmo autor, a expansão linear será maior ao se utilizarem *flakes* mais espessos e de menor comprimento.

A expansão linear ocorre em resposta a um aumento no teor de umidade do material e é uma das principais propriedades das chapas de partículas orientadas, já que, quando um painel em serviço está total ou parcialmente restrito e se expande, esse movimento pode provocar arranque de pregos e parafusos de sustentação, fendas e separação de painéis (WU & SUCHSLAND, 1996).

Em chapas de partículas orientadas, a expansão linear é menor no sentido paralelo à orientação do que no sentido perpendicular (Geimer et al., 1975, citados por KELLY, 1977). Este efeito também foi observado por BIBLIS (1989), MCNATT et al. (1992) e WU & SUCHSLAND (1996).

2.6. Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas mais importantes nas chapas de partículas são: módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) e ligação interna (LI) (HAYGREEN & BOWYER, 1982). Essas propriedades são afetadas por diversas variáveis, incluindo densidade da chapa, conteúdo de resina, tempo de prensagem, espécie utilizada, geometria e arranjo das partículas (HARRIS & JOHNSON, 1982).

2.6.1. Módulo de ruptura e módulo de elasticidade

A densidade é o fator mais importante relacionado com os módulos de ruptura e elasticidade nas chapas de partículas. Um aumento na densidade das chapas resulta em aumento dos módulos de ruptura e elasticidade. Esse aumento na resistência das chapas, devido à elevação da taxa de compressão, é causado pelo aumento dos pontos de contato entre as partículas, conforme tem sido demonstrado por vários pesquisadores (LEHMANN, 1974; VITAL et al., 1980; VITAL & WILSON, 1980; WU, 1999).

HSE et al. (1975) demonstraram que a relação entre MOR, MOE e taxa de compressão é diretamente proporcional.

Outro fator a influenciar a resistência mecânica das chapas é o teor de umidade. WU (1998) mostrou que os valores dos módulos de ruptura e elasticidade diminuam com o aumento do teor de umidade dos painéis. Em seu trabalho, avaliando três tipos de

alinhamento, WU (1999) verificou a influência da orientação das partículas sobre os valores de MOE e MOR, o que também foi verificado por HSE et al. (1975).

Quando aumenta a orientação, os valores de MOE e MOR crescem no sentido paralelo e diminuem no sentido perpendicular, fato observado por MCNATT et al. (1992).

2.6.2. Tração perpendicular ao plano da chapa (ligação interna)

A resistência à tração perpendicular é inversamente proporcional à espessura e ao comprimento da partícula (SHULER & KELLY, 1976). Segundo MALONEY (1993), a espessura ideal da partícula está entre 0,2 e 0,4 mm.

De acordo com VITAL & WILSON (1980), a resistência à ligação interna das chapas depende, primariamente, do formato geométrico das partículas utilizadas, e, com o aumento da densidade das chapas, os valores para tração perpendicular aumentam. Ao estudar dez espécies de folhosas dos Estados Unidos, HSE et al. (1975) observaram que as quatro mais pesadas apresentavam valores de LI significativamente inferiores aos das outras espécies devido à alta densidade destas, o que resultou em chapas menos densas.

O efeito da matéria-prima nos valores de tração normal está possivelmente relacionado com a quantidade efetiva de resina que participa da colagem entre as partículas. Como a aplicação do adesivo é baseada no peso seco da madeira, partículas com área superficial maior recebem maior quantidade de adesivo por unidade de área. À proporção que a área superficial decresce, a quantidade de resina por unidade de área aumenta, até atingir um ponto ótimo. Além desse ponto, variações na geometria das partículas causam apenas pequenas reações nos valores de tração perpendicular (VITAL & WILSON, 1980).

MCNATT et al. (1992) e HSE et al. (1975) não encontraram nenhuma influência do alinhamento das partículas na ligação interna.

2.7. Adesivos e aditivos

O desenvolvimento dos adesivos sintéticos foi fundamental para sucesso da indústria de compostos de madeira, devido à sua praticidade de aplicação e manuseio e principalmente a suas melhores características.

Os adesivos são divididos em dois grupos, os naturais e os sintéticos. Os adesivos naturais são divididos a partir de sua origem, se animal (albumina) ou vegetal (tanino). Já os adesivos sintéticos são divididos em: termofixos (uréia, fenol, melamina, resorcinol e epóxi), convertidos a um estado insolúvel, irreversível, por meio de reações químicas com ou sem aplicação de calor; e termoplásticos (polivinil-cloreto, polivinil-acetato e elastômeros), resistentes somente a mudanças físicas, podendo ser modificados pela ação de calor ou solventes (BOOTLE, 1983; KOLLMANN et al., 1975; MALONEY, 1993).

Os três principais adesivos utilizados na indústria de painéis são: uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e melamina-formaldeído (MALONEY, 1993). Atualmente, algumas empresas norte-americanas e européias também fazem uso do isocianato.

Segundo KOLLMANN et al. (1975), o teor de umidade presente nas partículas tem duas funções: primeiro, a diluição do adesivo pela água, retardando a gelatinização; depois, a vaporização de outras regiões da chapa, promovendo a transferência de calor. Assim, se as partículas estão consideravelmente secas, a reação de endurecimento terminará logo, e, em vez de um filme de cola aderente, uma massa sem coesão será formada.

A viscosidade da resina é um componente importante na pulverização ou aplicação do adesivo (STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION, 1995). PIZZI (1983) conclui que a viscosidade do adesivo, para uma boa chapa, deve estar compreendida entre 100 e 450 cps, uma vez que a fluidez excessiva causa encharcamento das partículas, tornando a linha de cola enfraquecida. Ao contrário, a baixa fluidez causa contato superficial insuficiente.

Segundo SANTANA & TEIXEIRA (1993), o teor de sólidos do adesivo é importante para se evitar alta umidade do colchão, o que pode ocasionar explosões internas provocadas pela formação de um bolsão de vapor no interior da chapa durante o processo de prensagem, liberado quando se alivia a pressão, provocando assim a delaminação da chapa.

GENERALLA et al. (1989) compararam diferentes percentuais de resina fenólica na fabricação de chapas de partículas orientadas, tendo indicado 5% de adesivo em relação ao peso seco de partículas como quantidade ideal. Outrossim, esses mesmos autores também afirmam que a produção de painéis de madeira com teores de adesivo superiores a 7% é economicamente inviável.

O fenol-formaldeído é o segundo adesivo mais utilizado para colagem nas indústrias de chapas de partículas. Diferentemente das resinas de uréia, é durável e resistente à exposição à água, seja quente ou fria. Não é atacado por ácidos fracos ou álcalis (bases), e é resistente à maioria dos solventes orgânicos. Apresenta grande resistência a altas temperaturas e possui coloração escura. No entanto, os adesivos fenólicos apresentam algumas desvantagens quando comparados aos de uréia-formaldeído, em relação a teor de sólidos, tempo de vida útil, compatibilidade com aditivos, incluindo emulsões de parafina, e preço (WANGAARD, 1981; MOSLEMI, 1974).

Adesivos como o fenol-formaldeído necessitam de temperaturas elevadas para cura, algo em torno de 121° a 149°C no interior do colchão. Outros compostos, como o resorcinol, podem ser empregados para diminuir o tempo de prensagem, porém são caros, o que torna sua utilização restrita às indústrias, principalmente as de compensado naval e chapas estruturais (BOOTLE, 1983; MALONEY, 1993).

As resinas fenólicas são utilizadas como adesivos em compensados e chapas de partículas para aplicação em exteriores, onde é necessário alta resistência à umidade.

2.8. Mistura de espécies

BIBLIS (1989) comparou chapas feitas com uma mistura de 50% de *Pinus* sp. e 50% de *sweetgum* (*Liquidambar styraciflua*) a chapas feitas exclusivamente com *Pinus* sp. Os painéis feitos com 100% de madeira de *Pinus* sp. obtiveram valores de MOE e MOR, no sentido paralelo, superiores aos dos painéis fabricados com mistura de *Pinus* sp. e *sweetgum*. Nesse mesmo trabalho, os resultados obtidos nos testes de ligação interna das chapas fabricadas com 100% de *Pinus* sp. foram inferiores aos das chapas fabricadas a partir da mistura.

CHEN et al. (1992) avaliaram cinco combinações de estruturas de colchão, variando a espessura e a largura dos *strands* utilizados no miolo. Quatro delas foram

feitas com madeira de *aspen*, nas camadas exteriores, e *paper birch* (*Betula papyrifera*) no miolo. A quinta foi um painel OSB comercial padrão, feito somente com madeira de *aspen*, que serviu como testemunha. A adição da madeira de *paper birch* no miolo teve pouca ou nenhuma influência nos valores de MOR e MOE. Já nas propriedades ligação interna e inchamento em espessura, os painéis feitos com partículas finas dessa madeira foram superiores aos painéis de *aspen*.

Avaliando a utilização de duas espécies do gênero *Eucalyptus* na fabricação de painéis de partículas orientadas, GOUVEIA et al. (2000) obtiveram, para todos os ensaios físicos e mecânicos, valores de *Eucalyptus grandis* superiores aos de *Eucalyptus urophylla*. Nesse mesmo trabalho, os autores desaconselharam o uso da madeira de *Eucalyptus urophylla* com mais de 18 anos, devido à sua alta densidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Espécies utilizadas

As chapas foram produzidas no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a partir de misturas entre as madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm. As árvores foram obtidas, respectivamente, em plantios com sete anos de idade na Fazenda Cachoeirinha, no município de Viçosa, MG, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, e em plantios com trinta anos de idade localizados próximos à Sede da Silvicultura, no Campus da mesma universidade.

Os valores médios de densidade 12%, apresentados pelas madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, foram de 0,52 g/cm³ e 0,43 g/cm³, respectivamente.

3.2. Preparação dos *strands* e do adesivo

As árvores foram seccionadas em toras de quatro metros e, posteriormente, em toretes de um metro desdobrados em tábuas com aproximadamente 80 cm de comprimento, 12 cm de largura e 2,0 cm de espessura, retiradas tangencialmente aos anéis de crescimento. As tábuas foram reduzidas a peças com mesma largura e espessura e com 20 cm de comprimento, as quais foram armazenadas em tanques com água até estarem completamente saturadas.

Depois de saturadas, as peças de eucalipto foram aquecidas em água fervente durante uma hora. Esse processo foi realizado com o intuito de favorecer o corte da

madeira, proporcionando assim partículas de melhor qualidade. A madeira de *Pinus elliottii* não foi cozida por não apresentar dificuldade de corte para a obtenção dos *strands*.

As peças foram processadas em um picador BEZNER com disco de facas, e, posteriormente, as partículas obtidas foram espalhadas sob lonas para secarem ao ar.

Todo o material foi classificado, pela ação da gravidade, em um sistema de peneiras. Para separar os *strands*, foi utilizada uma malha de 24 mm e outra de 14 mm. As partículas não retidas nas telas, com dimensões consideradas inadequadas para a fabricação de OSB, foram descartadas, sendo os *strands* classificados em ambas as malhas submetidos a secagem em estufa seca de laboratório com ventilação forçada, a 95°C, até um teor de umidade de 3%. As dimensões médias dos *strands* foram: 10 cm de comprimento, 2 cm de largura e 0,52 mm de espessura.

A taxa de compressão das chapas feitas com maior proporção de *Pinus elliottii* foi superior à daquelas produzidas com maiores proporções de *Eucalyptus grandis*, o que ocorreu devido à diferença entre os valores de densidade das duas espécies. O volume ocupado por partículas de madeira com densidade 0,43 g/cm³ é maior do que o de partículas com 0,52 g/cm³; sendo assim, quando essas partículas são prensadas em chapas com mesma espessura, o produto final será um painel com maior taxa de compressão.

A espessura das partículas das duas espécies foi uniforme, obtendo-se coeficiente de esbeltez médio (razão entre o comprimento e a espessura da partícula) igual a 192, dentro, portanto, da faixa compreendida entre 150 e 200, recomendada por SHULER & KELLY (1976) para que o desempenho das propriedades mecânicas das chapas seja otimizado.

O adesivo utilizado foi o CASCOPHEN IV-80 da Alba Química: resina fenólica com 350 cps de viscosidade, pH 12,15 e 47,63% de teor de sólidos resinosos. Foi adicionado 1% de emulsão de parafina às chapas, em relação ao peso seco dos *strands*, com o objetivo de retardar a absorção de água. A emulsão foi preparada no próprio laboratório, obedecendo à seguinte proporção: 380 partes de parafina, 360 partes de água, 40 partes de NH₄OH 22% e 40 partes de ácido esteárico.

3.3. Confeção das chapas

As chapas foram confeccionadas nas dimensões de 55 x 55 x 1,3 cm, com densidade nominal de 0,7 g/cm³ e três diferentes teores de sólidos de resina em relação ao peso seco dos *strands*, 4%, 6% e 8%. O adesivo foi aplicado por meio de um par de bicos aspersores, instalado na tampa de um misturador mecânico tipo DRAIS FSP 80. A emulsão de parafina foi aplicada juntamente com o adesivo. O colchão, composto de três camadas cruzadas de partículas (face, 25%; miolo, 50%; e face: 25%), foi formado manualmente, já os *strands* eram orientados mecanicamente por meio de um sistema de canaletas. O colchão foi prensado em uma prensa SIMI de circuito hidráulico, durante 8 minutos, a uma temperatura média de 147,38°C e durante um tempo médio de fechamento de prensa de 23”.

Os painéis utilizados como testemunha foram produzidos a partir de uma espécie nativa, *aspen*, da região de Alberta, no Canadá, (*Populus tremuloides*), em uma empresa canadense, fabricante mundial de painéis de madeira. A densidade da chapa, fornecida pela fábrica, foi 0,56 g/cm³. A chapa, composta de três camadas de partículas e possuindo espessura nominal de 1,19 cm, recebeu a aplicação, nas faciais, de aproximadamente 6% de adesivo fenólico, e no miolo, de aproximadamente 3% de polímeros de diisocianato (MDI). As dimensões das partículas utilizadas foram as seguintes: 10,16 cm de comprimento, 2,54 cm de largura e 0,68 mm de espessura.

3.4. Desenho do experimento

O experimento foi dividido em duas etapas: na primeira, foram testados 5 tipos de misturas entre as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*; na segunda, foram avaliadas 3 estruturas de montagem para o colchão de partículas, a partir de uma proporção fixa (50%) entre as espécies utilizadas. Para cada tipo de mistura, foram avaliadas três quantidades de adesivo, já previamente descritas. Amostras do painel OSB comercial foram utilizadas como testemunha. Os delineamentos das duas etapas do experimento são apresentados nos Quadros 1 e 2. Foram feitas três repetições, o que totalizou 63 chapas produzidas e 66 estudadas.

Quadro 1. Desenho do experimento – Etapa 1

Tratamento	Proporção da espécie		Teor de adesivo		
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus elliottii</i>			
A	100%	0%	8%	6%	4%
B	75%	25%	8%	6%	4%
C	50%	50%	8%	6%	4%
D	25%	75%	8%	6%	4%
E	0%	100%	8%	6%	4%
T	Populus tremuloides		-	-	-

Quadro 2. Desenho do experimento – Etapa 2

Tratamento	Estrutura do colchão		Teor de adesivo		
	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus elliottii</i>			
C	indistinto		8%	6%	4%
F	faces	miolo	8%	6%	4%
G	miolo	faces	8%	6%	4%

3.5. Confeção dos corpos de prova

Foram confeccionados corpos de prova para os testes de módulo de ruptura à flexão estática (MOR); módulo de elasticidade (MOE); expansão linear, inchamento em espessura, absorção de água e tração perpendicular ao plano da chapa (ligação interna).

Os corpos de prova de densidade, teor de umidade e arranque de parafuso perpendicular à superfície foram obtidos dos corpos de prova do ensaio de flexão estática, já testados.

Todos os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM D 1037-91 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1991), e os valores obtidos nos testes foram avaliados com base na norma canadense CSA O437-93, que serve de

referência para a emissão de selos de qualidade nos mercados dos Estados Unidos e Canadá, países onde a utilização de painéis OSB é tradicional.

3.6. Testes físicos

A taxa de compressão é a razão entre a densidade da chapa de partícula e a densidade da mistura das madeiras utilizadas na sua fabricação. O valor da taxa de compressão foi diferente entre os tratamentos, uma vez que a densidade da chapa foi fixada em 0,7 g/cm³. De acordo com DEL MENEZZI et al. (1996), para o cálculo da densidade da mistura deve ser empregada a seguinte fórmula:

$$DM = \frac{(P_G \times D_G) + (P_P \times D_P)}{100}$$

em que:

DM: densidade da mistura;

P_G e **P_P**: porcentagens de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, respectivamente;

D_G e **D_P**: densidades de *E. grandis* e *P. elliottii*, respectivamente.

Foram utilizados 2 corpos de prova por chapa, nas dimensões de 7,6 x 7,6 cm, para a realização dos testes de densidade e teor de umidade. Para o cálculo da densidade, foi utilizado o método volumétrico, medindo-se as três dimensões das peças com um paquímetro digital. O teor de umidade foi calculado na base seca.

Para os testes de expansão linear, inchamento em espessura e absorção de água, foram retirados, de cada chapa, dois corpos de prova nas dimensões de 7,6 x 30,5 cm. Após a sua climatização, com o auxílio de um gabarito, foram marcados dois pontos eqüidistantes 20 cm um do outro, para o teste de expansão linear. Para o teste de inchamento, mediu-se a espessura em 4 pontos marcados, distantes 2,5 cm das bordas dos corpos de prova. Para o teste de absorção de água, as massas dos corpos de prova foram anotadas. Foram empregados um paquímetro, um relógio comparador com precisão de 0,01mm e uma balança com precisão de 0,01g. Os corpos de prova foram

mergulhados em um recipiente com água destilada, e após 2 horas e 24 horas, foram refeitas as medições e pesagens.

3.7. Testes mecânicos

Foram confeccionados 4 corpos de prova nas dimensões de 7,6 x 35 cm, para o cálculo do módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE).

Foram produzidos 3 corpos de prova por chapa, nas dimensões nominais de 5 x 5 cm, para o teste de tração perpendicular ao plano da chapa (ligação interna).

Para o teste de arranque de parafuso, foram confeccionados dois corpos de prova nas dimensões 7,6 x 15 cm, os quais foram preparados de acordo com a Norma ASTM D 1037-91 (AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, 1991).

3.8. Análise estatística

O trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira, para verificar a influência das proporções entre as espécies e as taxas de adesivo aplicadas; e a segunda, com o intuito de avaliar as diferentes estruturas de colchão e as taxas de adesivo. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada utilizando o software SPSS 10.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Influência da proporção entre espécies e da taxa de adesivo

Os resultados apresentados a seguir são relativos à primeira etapa do experimento, que avaliou a influência da proporção entre as espécies utilizadas e da taxa de adesivo aplicada.

No Quadro 3, estão listados os valores médios de densidade, taxa de compressão e espessura das partículas.

A densidade das chapas utilizadas como testemunha foi muito inferior à das produzidas; desta maneira, optou-se por retirar o tratamento T da análise estatística, ficando os dados obtidos nos testes apenas como valores comparativos.

A densidade média das chapas fabricadas apenas com madeira de eucalipto foi inferior à densidade das demais chapas e ficou abaixo do valor desejado, provavelmente pela perda de material durante a formação do colchão ou devido à aplicação de uma taxa de compressão inferior àquela necessária.

Os resultados dos testes de absorção de água (AB), inchamento em espessura (IE) e expansão linear (EL), após imersão em água por 2 e 24 horas, estão apresentados no Quadro 4 e nas Figuras 1 a 6.

Embora a norma CSA O437-93 avalie apenas inchamento em espessura e expansão linear em 24 horas, as variações dimensionais após 2 horas de imersão, bem como a absorção de água em 2 e 24 horas, também foram analisadas.

Mesmo utilizando-se emulsão de parafina, os valores observados nos testes de absorção de água e inchamento em espessura foram elevados. Todos os tratamentos extrapolaram o máximo permitido para inchamento em espessura.

Quadro 3. Valores médios das variáveis de processamento: densidade 12%, taxa de compressão e espessura das partículas

Tratamento	Densidade 12% (g/cm ³)	Taxa de compressão	Espessura das partículas (mm)
A	0,66a	1,26	0,52
B	0,71ab	1,44	0,52
C	0,73ab	1,54	0,52
D	0,74b	1,64	0,52
E	0,73b	1,72	0,52
T	0,56	1,26	0,68

Valores em uma mesma coluna, seguidos por uma mesma letra, são idênticos estatisticamente.

De um modo geral, os melhores resultados nos testes de absorção de água e inchamento em espessura foram obtidos para as chapas produzidas com 8% de resina fenólica. Entre estas, as chapas que mais se destacaram foram as fabricadas com 100% de eucalipto ou 50% eucalipto e 50% pinus.

Todos os painéis apresentaram valores de expansão linear abaixo do máximo permitido pela Norma CSA O437-93, tanto no sentido paralelo quanto no perpendicular à orientação da chapa. Ao contrário do que relata a literatura, não se pôde observar diferença de comportamento entre os sentidos de orientação. A expansão linear nos sentidos paralelo e perpendicular foi semelhante.

Quadro 4. Valores médios dos testes de absorção de água, inchamento em espessura e expansão linear, em painéis OSB feitos com 5 proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e três taxas de aplicação de adesivo

Tratamento		Absorção de água (%)		Inchamento em espessura (%)		Expansão linear paralela (%)		Expansão linear perpendicular (%)	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
A	8%	6,83 ^a	22,39a	7,57a	16,89a	0,012	0,075	0,025	0,025
	6%	7,06 ^a	27,20ab	10,44b	23,37b	0,025	0,075	0,025	0,012
	4%	6,22 ^a	27,62b	11,00c	30,98c	0,037	0,105	0,012	0,012
B	8%	11,83a	32,46ab	10,70a	19,89a	0,006	0,056	0,012	0,025
	6%	9,23 ^a	33,75ab	12,76b	25,76b	0,000	0,008	0,025	0,050
	4%	9,39 ^a	37,61b	18,89c	35,10c	0,012	0,050	0,025	0,062
C	8%	6,02 ^a	22,33a	7,94a	17,97a	0,000	0,019	0,000	0,012
	6%	6,92 ^a	37,53ab	10,03b	26,09b	0,019	0,031	0,025	0,000
	4%	15,13a	53,07b	17,92c	34,93c	0,043	0,062	0,012	0,025
D	8%	10,62a	37,14a	11,25a	23,80a	0,019	0,025	0,049	0,025
	6%	10,38a	40,15ab	11,94b	23,90b	0,019	0,025	0,037	0,012
	4%	14,37a	61,14b	20,15c	36,91c	0,025	0,031	0,087	0,161
E	8%	13,17a	39,89a	9,96a	20,09a	0,031	0,012	0,050	0,050
	6%	21,56a	60,25ab	16,59b	28,22b	0,012	0,019	0,050	0,050
	4%	12,81a	61,07b	17,77c	33,36c	0,012	0,012	0,224	0,261
T		12,33	36,30	12,61	20,57	0,006	0,062	0,125	0,144

Valores máximos aceitáveis pela norma CSA O437: IE (24h) = 15%; EL// = 0,35%; EL ⊥ = 0,50%.

A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin.

Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*; T: testemunha. Análise estatística em função do teor de adesivo. Valores em uma mesma coluna, seguidos por uma mesma letra, são idênticos estatisticamente.

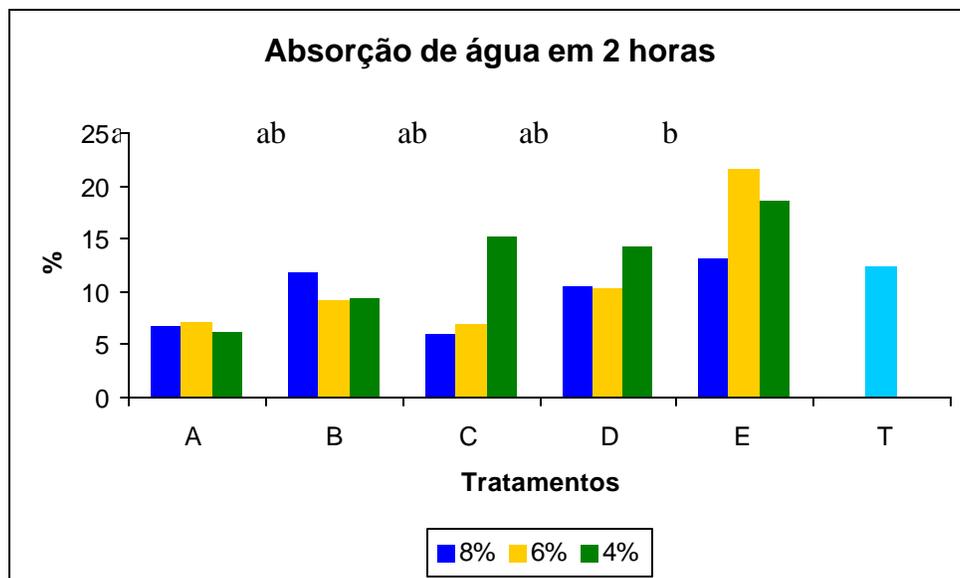


Figura 1. Resultados do teste de absorção de água, em 2 horas, de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

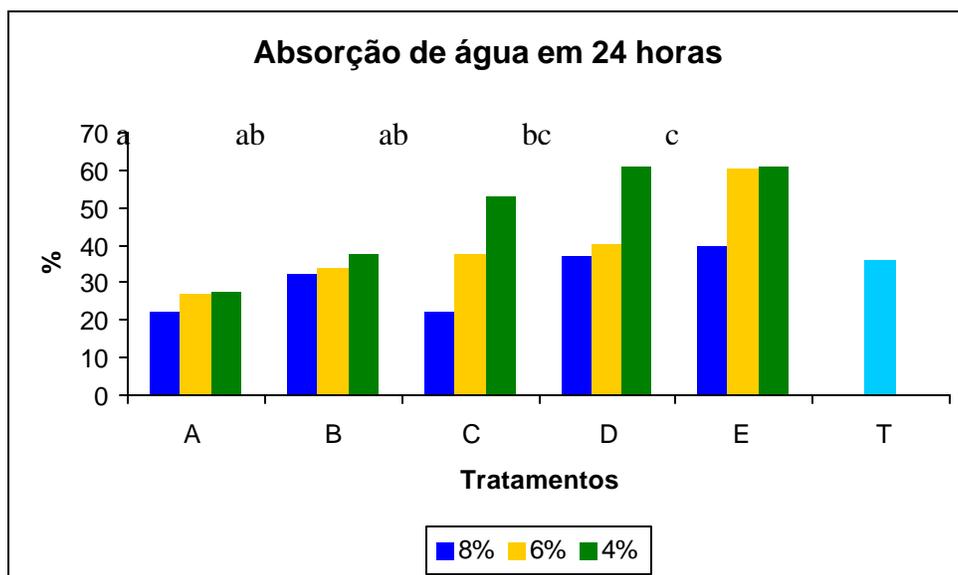


Figura 2. Resultados do teste de absorção de água, em 24 horas, de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

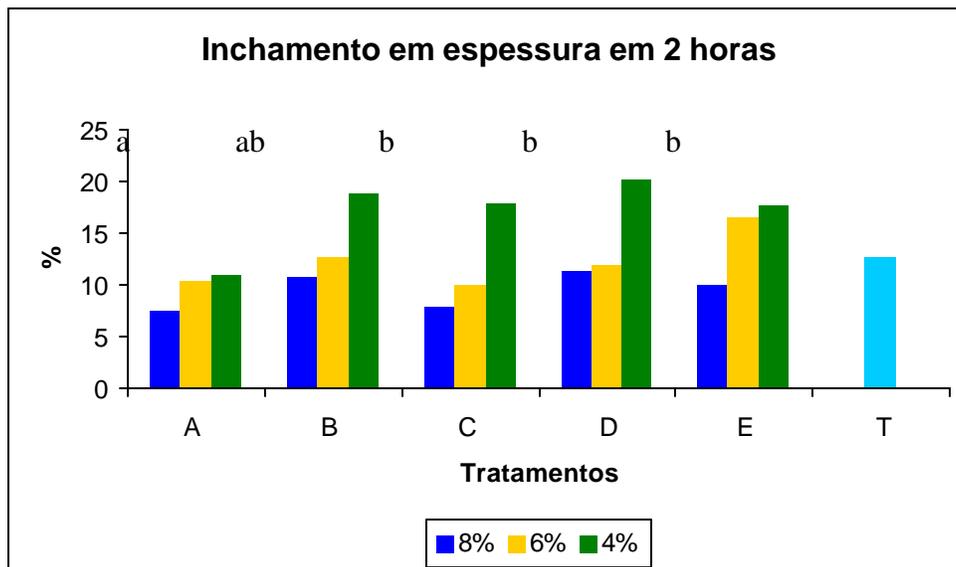


Figura 3. Resultados do teste de inchamento em espessura, em 2 horas, de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc / 0% Pin; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 0% Euc / 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

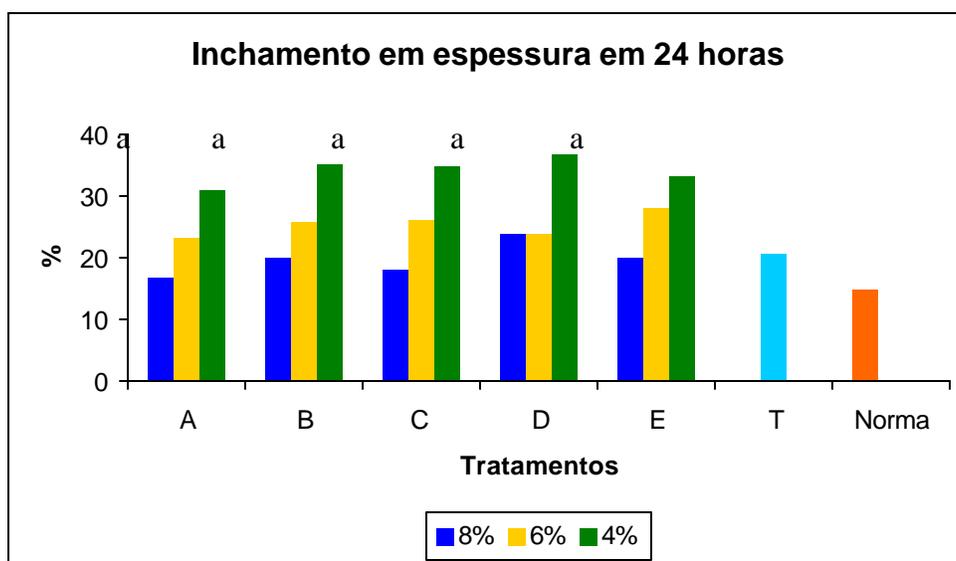


Figura 4. Resultados do teste de inchamento em espessura, em 24 horas, de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A:

100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

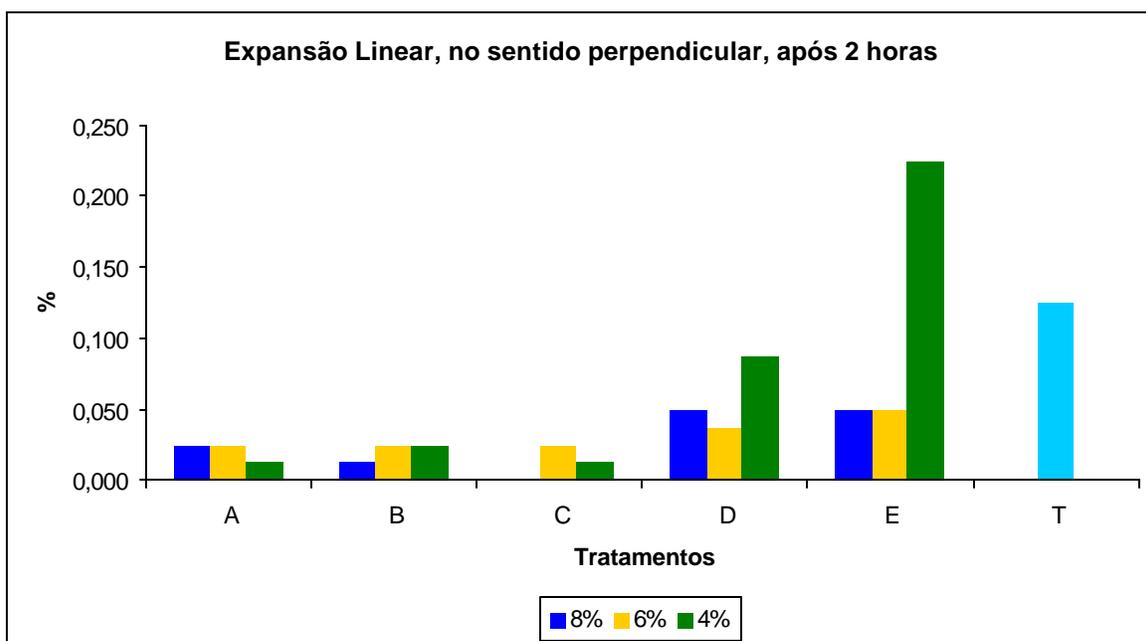
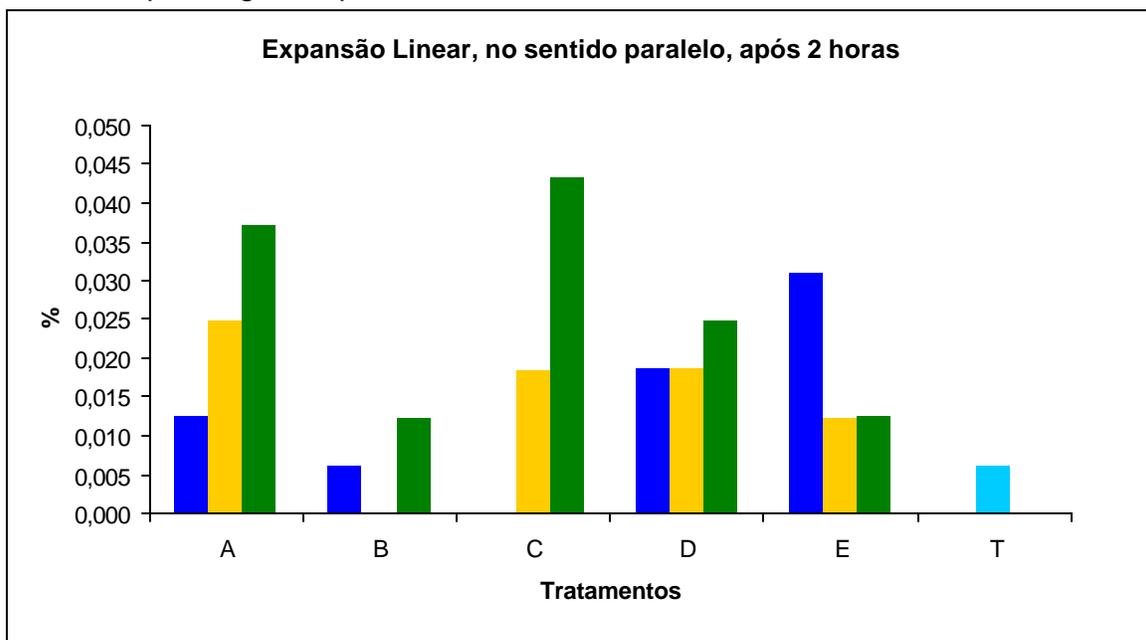


Figura 5. Resultados do teste de expansão linear, em 2 horas, de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Pin; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. //: sentido paralelo à orientação; #: sentido perpendicular à orientação. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

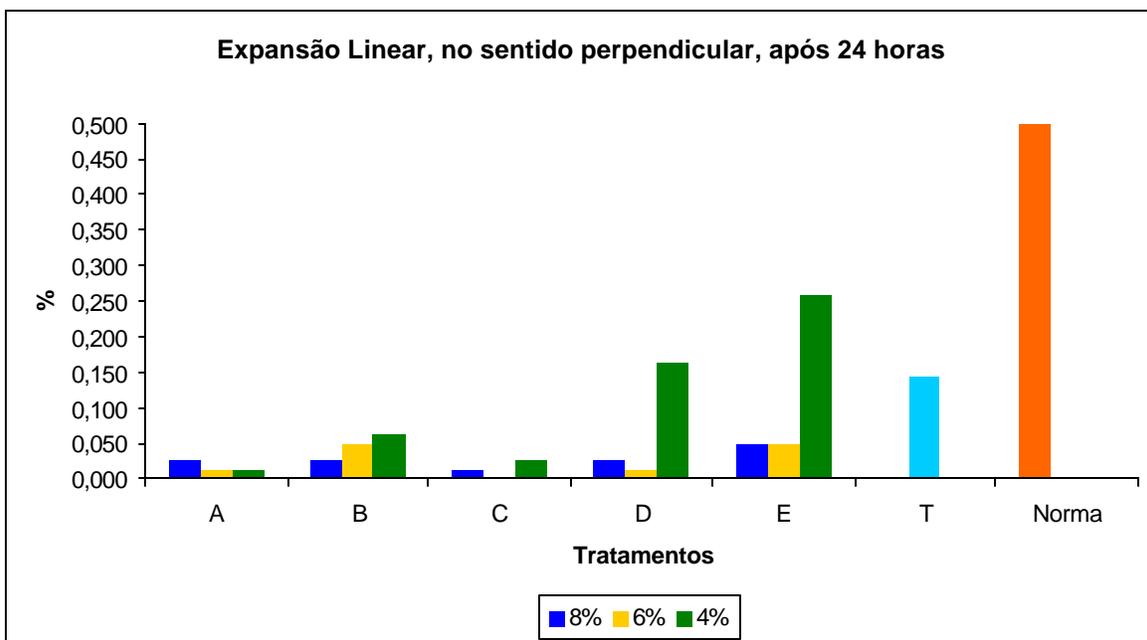
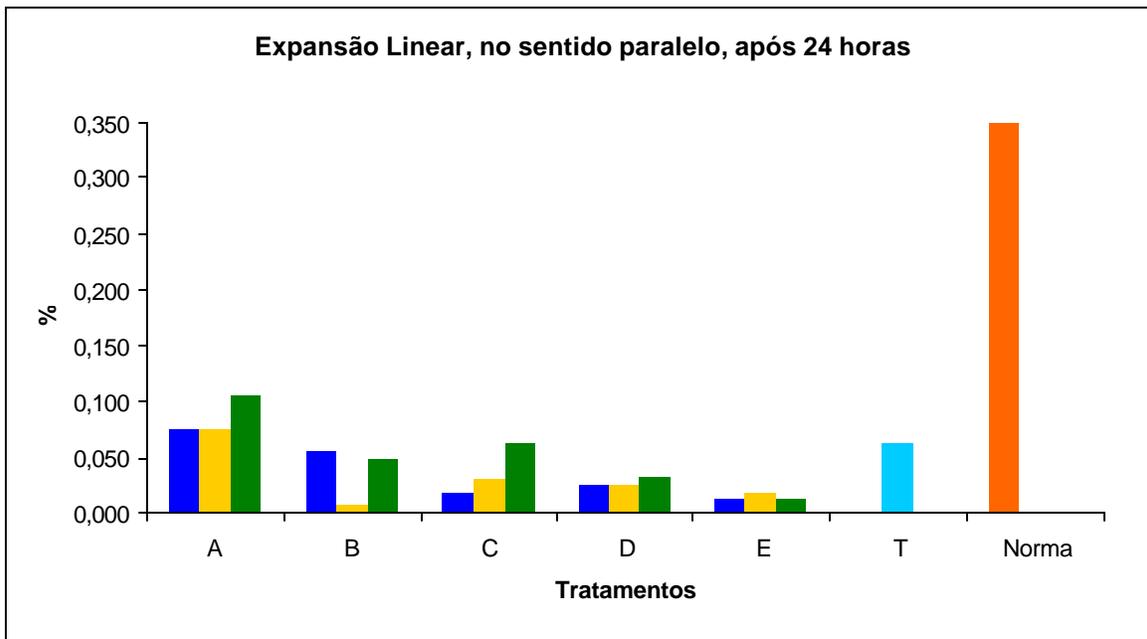


Figura 6. Resultados do teste de expansão linear, em 24 horas, de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. //: sentido paralelo à orientação; #: sentido perpendicular à orientação. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

No Quadro 5 e nas Figuras 7 a 10, são apresentados os valores das propriedades mecânicas: flexão estática (MOR e MOE) nos sentidos paralelo e perpendicular à orientação da chapa, ligação interna e arranque de parafuso.

A propriedade *ligação interna* é influenciada tanto pela proporção entre as espécies quanto pela taxa de adesivo aplicada. De modo geral, dos tratamentos avaliados, a melhor resistência foi observada nas chapas fabricadas exclusivamente com partículas de pinus.

Foi possível constatar que, quanto maior a taxa de adesivo aplicada, maior a resistência de ligação interna.

Com exceção do tratamento D (25% eucalipto e 75% pinus), todos os outros fabricados com 4% de resina fenólica apresentaram valores superiores àqueles estabelecidos na norma CSA O437-93. Tal informação é de grande valia para a implantação de futuras plantas industriais de OSB, visto que um dos itens que mais oneram a produção de chapas de madeira é o adesivo. Os valores obtidos pela testemunha não atenderam às especificações da norma.

As proporções entre as espécies tiveram influência significativa nos valores de módulo de ruptura e elasticidade, tanto no sentido paralelo quanto no perpendicular. Já as taxas de adesivo aplicadas só não influenciaram os valores de módulo de elasticidade paralelo. A literatura relata que, quanto maior for a quantidade de adesivo, maior será o resultado obtido. Porém, esta característica não foi verificada em todos os tratamentos, o que pode ter sido ocasionado pela desuniformidade na formação dos colchões.

Quadro 5. Valores médios dos testes de flexão estática (MOR e MOE), ligação interna e arranque de parafuso em painéis OSB feitos com 5 proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e três taxas de aplicação de adesivo

Tratamento		Flexão paralela (MPa)		Flexão perpendicular (MPa)		Ligação interna (MPa)	Arranque de parafuso (N)
		MOR	MOE	MOR	MOE		
A	8%	40,22a	6203,70a	32,72a	4628,27a	0,742a	2404a
	6%	39,94ab	6757,77ab	34,89ab	5631,55a	0,674b	1925a
	4%	27,12b	5328,78b	36,76b	7268,77a	0,357c	1525b
B	8%	34,73a	4686,52a	27,43a	3560,62a	0,657a	1643a
	6%	27,66ab	4977,62ab	23,63ab	3103,23a	0,439b	1994a
	4%	33,49b	5721,82b	19,11b	2682,33a	0,460c	1288b
C	8%	43,89a	6838,57a	39,80a	4732,32a	0,706a	2185a
	6%	41,31ab	5500,73ab	37,65ab	4546,16a	0,551b	1001a
	4%	36,89b	6159,55b	30,96b	4213,73a	0,457c	1383b
D	8%	39,95a	5366,41a	40,40a	4777,13a	0,706a	2086a
	6%	36,45ab	5308,45ab	37,33ab	4525,04a	0,623b	2141a
	4%	29,40b	4543,43b	28,24b	4202,27a	0,330c	1708b
E	8%	57,10a	7489,68a	50,02a	5622,59a	0,748a	2470a
	6%	48,69ab	6410,35ab	37,66ab	4098,16a	0,769b	1989a
	4%	41,82b	5979,42b	35,46b	3902,87a	0,652c	1569b
T		26,80	4654,05	19,79	2292,57	0,336	1194

Valores mínimos exigidos pela norma CSA O437 - 93: MOR //: 29 MPa; MOR : 12,4 MPa; MOE//: 5500 MPa; MOE : 1500 MPa; LI: 0,345 MPa, AP: 1498 N.

Análise estatística em função do teor de adesivo. Valores em uma mesma coluna, seguidos por uma mesma letra, são idênticos estatisticamente.

Os melhores resultados de módulo de ruptura e módulo de elasticidade foram observados nas chapas fabricadas com 100% de pinus, seguidas pelas chapas com 100% de eucalipto e por aquelas com 50% de cada espécie.

Dos valores apresentados pela testemunha, somente os dados de flexão estática no sentido perpendicular foram superiores ao estabelecido pela norma canadense.

Assim como relata a literatura, a maioria dos resultados dos ensaios realizados com os corpos de prova orientados paralelamente foi superior aos dos ensaios realizados com aqueles orientados perpendicularmente. Contudo, a razão entre os sentidos paralelo/perpendicular dos valores foi pequena. Para MOR 1,15 e MOE 1,34, o resultado foi muito aquém dos 2,5 citados por FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999).

Isso demonstra que o grau de orientação das chapas foi inferior ao máximo possível. Um dos motivos que influenciaram o menor grau de alinhamento foi a altura de queda das partículas. A distância das canaletas até o prato de formação era de aproximadamente 30 cm, consideravelmente alto para o alinhamento satisfatório das partículas. Outro fator que comprova o menor grau de orientação das partículas foram os valores obtidos nos testes realizados no sentido perpendicular, muito superior aos exigidos pela norma, o que indica um padrão fora da normalidade.

A resistência a flexão, nas chapas produzidas com 100% de eucalipto e 4% de adesivo ou com 75% de eucalipto e 6% de adesivo, foi inferior ao estabelecido pela Norma CSA O437-93. Foram observados valores de módulo de elasticidade inferiores ao estipulado na norma para chapas fabricadas com 100% de eucalipto e 4% de adesivo, bem como para todas as chapas produzidas com 75% de eucalipto e qualquer teor de adesivo. Todas as demais chapas apresentaram resistência e módulo superior ao exigido pela norma.

Exceto para as chapas fabricadas com 75% de eucalipto e 25 % de pinus e 4 ou 8% de adesivo, bem como aquelas fabricadas com 50% de madeira de cada espécie e 6% de adesivo, todas apresentaram resistência ao arrancamento de parafuso superior ao estabelecido pela norma canadense. A resistência observada na testemunha foi inferior ao valor mínimo exigido na norma.

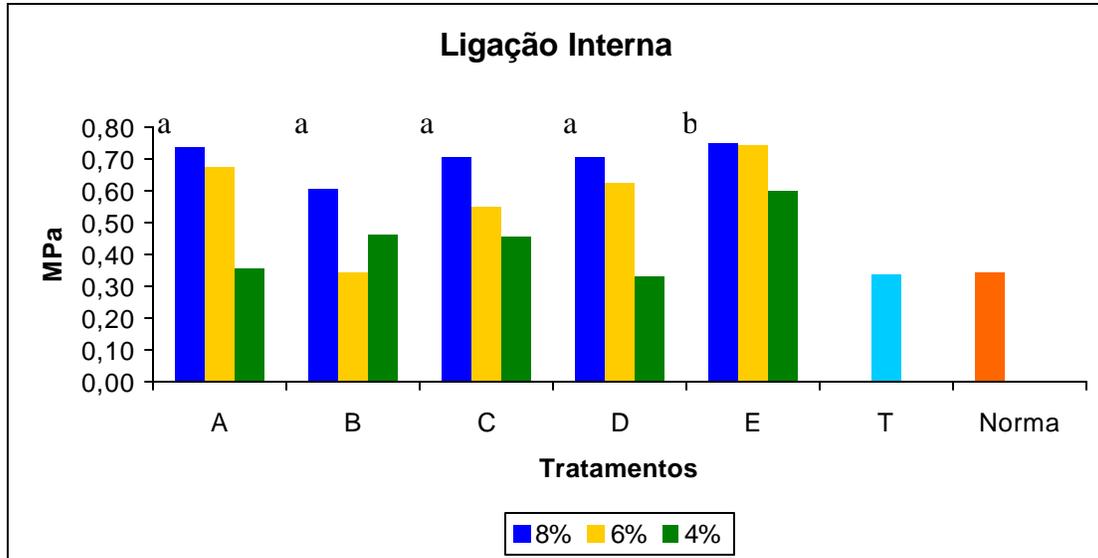


Figura 7. Resultados do teste de ligação interna em painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

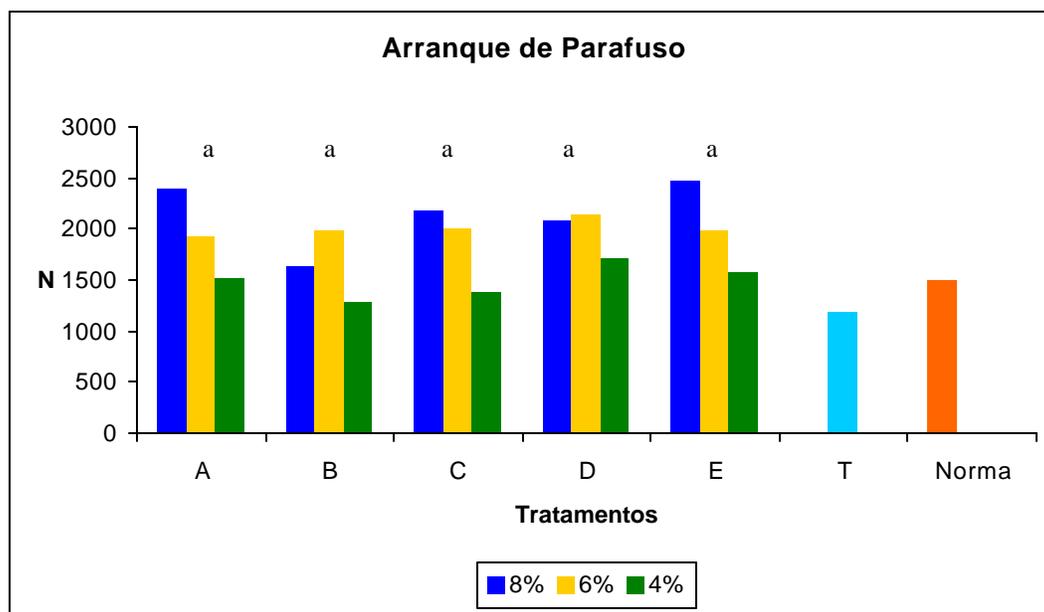


Figura 8. Resultados do teste de arranque de parafuso e módulo de ruptura (MOR) de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75%

Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

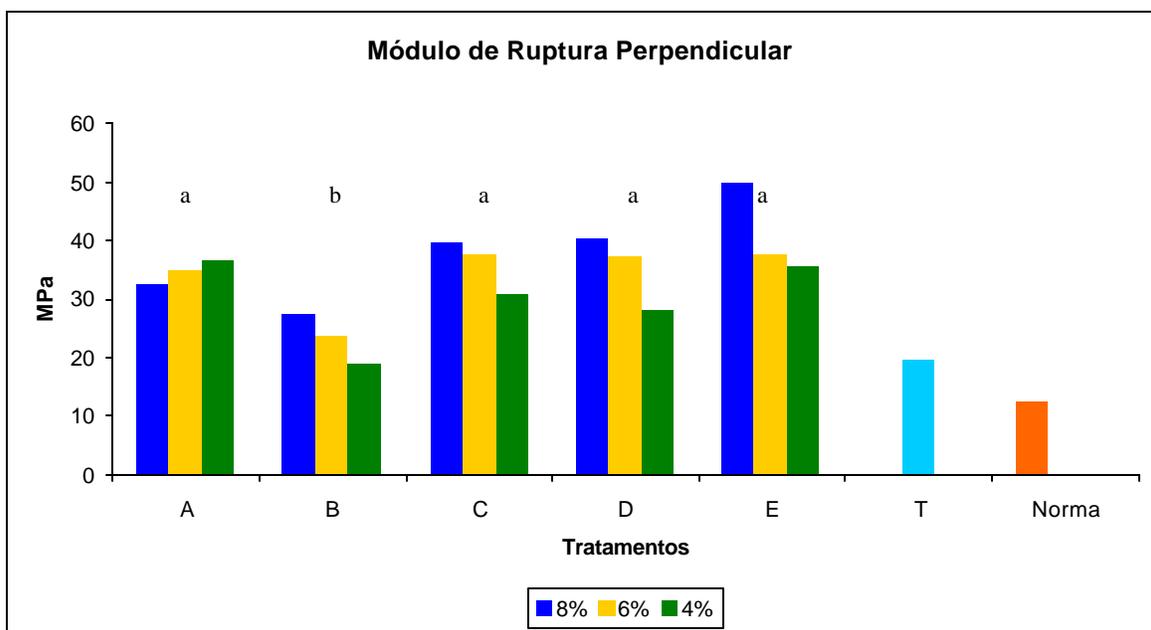
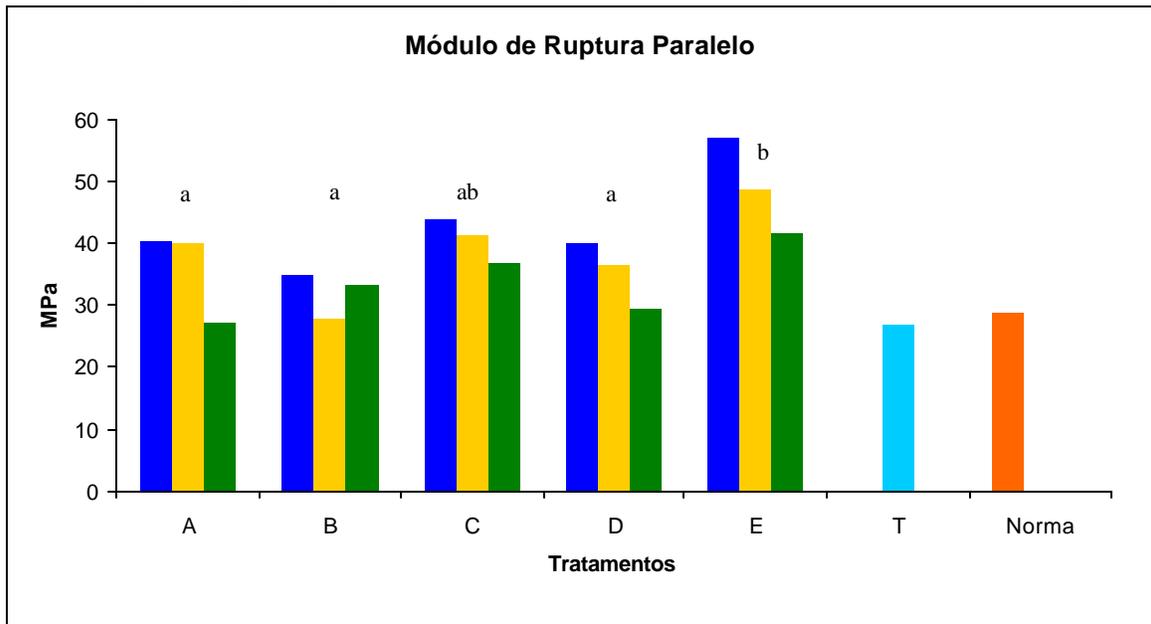


Figura 9. Resultados do teste de flexão estática e módulo de ruptura (MOR paralelo e perpendicular) de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. //: sentido paralelo à orientação; #: sentido perpendicular à orientação. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

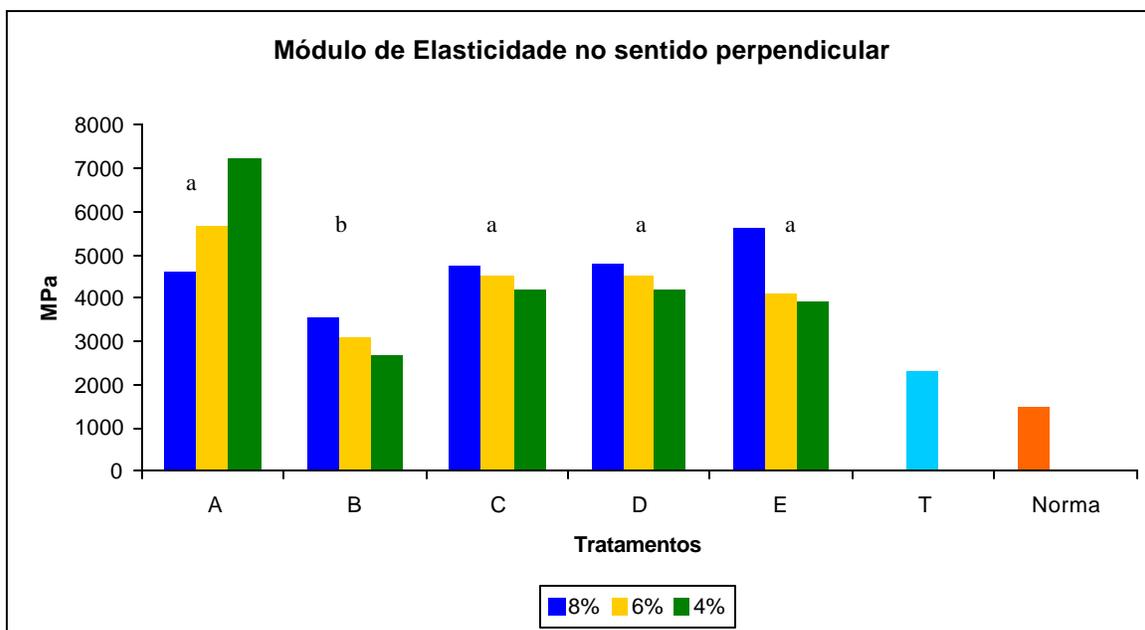
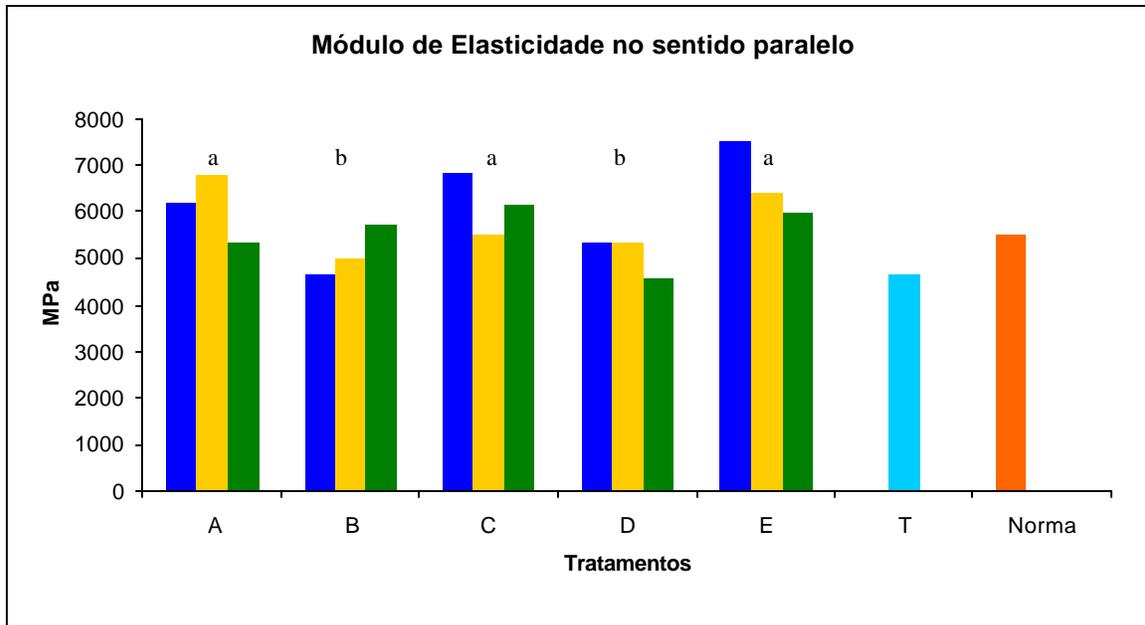


Figura 10. Resultados do teste de flexão estática e módulo de elasticidade (MOE) de painéis OSB produzidos com cinco proporções de mistura entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo A: 100% Euc; B: 75% Euc / 25% Pin; C: 50% Euc / 50% Pin; D: 25% Euc / 75% Pin; E: 100% Pin; T: testemunha. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. //: sentido paralelo à orientação; #: sentido perpendicular à orientação.

4.2. Influência da estrutura do colchão

Os resultados apresentados a seguir são relativos à segunda etapa do trabalho, em que foram avaliados painéis OSB feitos com três diferentes estruturas de colchão, todos fabricados com 50% de *Eucalyptus grandis* e 50% de *Pinus elliottii*. Utilizou-se a mesma variação na taxa de aplicação de fenol-formaldeído: 4%, 6% e 8%.

No Quadro 6, estão listados os valores médios de densidade 12%, taxa de compressão e espessura das partículas.

Os valores de densidade 12% das chapas apresentaram valores acima da densidade desejada ($0,70 \text{ g/cm}^3$). A taxa de compressão também foi superior ao recomendado por MALONEY (1993) como mínimo para a obtenção de bons resultados: 1,30.

Conforme pode ser observado na Tabela 2 do apêndice deste trabalho, a estrutura do colchão, exceto para absorção de água após 24 horas de imersão, não afetou de forma significativa as propriedades das chapas. Por outro lado, o teor de adesivo afetou todas as propriedades, exceto absorção de água após 2 horas de imersão, módulo de elasticidade paralelo e densidade. A análise de variância indica ainda que o inchamento em espessura após 24 horas de imersão foi afetado pela interação entre o teor de adesivo e a estrutura do colchão.

Quadro 6. Valores médios das variáveis de processamento: densidade 12%, taxa de compressão e espessura das partículas

Tratamento	Densidade 12% (g/cm^3)	Taxa de compressão	Espessura (mm)
C	0,73	1,54	0,52
F	0,72	1,51	0,52
G	0,75	1,59	0,52

Não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias de densidade.

Assim como na etapa um, de um modo geral, quanto maior a taxa de adesivo, mais satisfatórios foram os resultados alcançados.

Os resultados dos testes de absorção de água (AB), inchamento em espessura (IE) e expansão linear (EL), após imersão em água por 2 e 24 horas, são apresentados no Quadro 7 e nas Figuras 11 a 16.

Analisando exclusivamente a estrutura dos colchões, os melhores resultados para absorção de água em 24 horas foram obtidos para as chapas fabricadas contendo 50% de cada espécie distribuídos de maneira uniforme, ou contendo madeira de pinus nas faces e eucalipto no miolo. Isto indica que painéis feitos com madeira de eucalipto nas camadas superficiais absorvem mais água do que aqueles fabricados com madeira de pinus ou a mistura dessas duas espécies.

As demais propriedades físicas não sofreram influência da estrutura do colchão. Entretanto, ao se analisar exclusivamente o efeito do teor de adesivo, foi observado efeito significativo em três das quatro propriedades físicas analisadas: No teste de absorção de água em 24 horas, os melhores tratamentos foram os das chapas produzidas com taxas de 8% e 6%. Os mesmos resultados foram observados no teste de inchamento em espessura em duas horas. Já no teste de inchamento em 24 horas, os melhores resultados foram obtidos exclusivamente por aquelas chapas produzidas com 8% de adesivo fenólico.

Analisando a interação entre as variáveis estrutura de colchão e taxa de adesivo, a única propriedade a apresentar diferença estatística significativa foi o inchamento em espessura em 24 horas. Deste modo, tem-se que: para as chapas produzidas misturando-se as espécies, os melhores resultados são obtidos utilizando-se 8% de adesivo; para painéis fabricados com capas de eucalipto, os melhores são produzidos com 6% e 8%; para as chapas produzidas com pinus na capa, deve-se preferir a maior taxa de adesivo (8%), para a qual foram obtidos os melhores resultados. Todavia, assim como os resultados da primeira etapa do trabalho, somente os valores de expansão linear, tanto no sentido paralelo quanto no perpendicular, atendem à norma CSA O437-93.

Os resultados dos testes mecânicos são apresentados no Quadro 8 e nas Figuras 17 a 20. A variação na estrutura do colchão não teve influência significativa sobre as propriedades mecânicas das chapas, nem tampouco a interação entre a estrutura e taxa de adesivo. Entretanto, ao se considerar exclusivamente a porcentagem de resina

aplicada, a única propriedade a não apresentar diferença significativa foi o módulo de elasticidade no sentido paralelo.

Os melhores resultados foram obtidos pelas chapas que utilizaram 6% e 8% de adesivo, porém os painéis fabricados com 4% de resina também foram superiores aos valores estabelecidos pela norma CSA O437-93.

Dos testes realizados, apenas a resistência ao teste de arranque de parafuso, nas chapas fabricadas com 4% de adesivo do tratamento contendo 50% de madeira de cada espécie, foi inferior ao limite estabelecido pela norma. Todos os demais valores obtidos nos testes mecânicos foram superiores àqueles estipulados na norma CSA O437-93.

Um detalhe digno de nota foi observado no rompimento dos corpos de prova nos testes de ligação interna dos dois últimos tratamentos, contendo eucalipto ou pinus nas faces ou no miolo. Nas chapas produzidas com madeira de eucalipto nas camadas superficiais (F), 81% dos corpos de prova se romperam em uma das faces; já nas chapas produzidas com eucalipto no miolo (G), 59% dos corpos de prova se romperam na camada interior. Este comportamento pode ser explicado pela diferença entre as espécies, pois como a madeira de *Eucalyptus grandis* é mais densa que a de *Pinus elliottii*, o volume de material é menor e, por conseqüência, o contato entre as partículas também, daí a fragilidade das camadas em que se encontra a madeira de eucalipto.

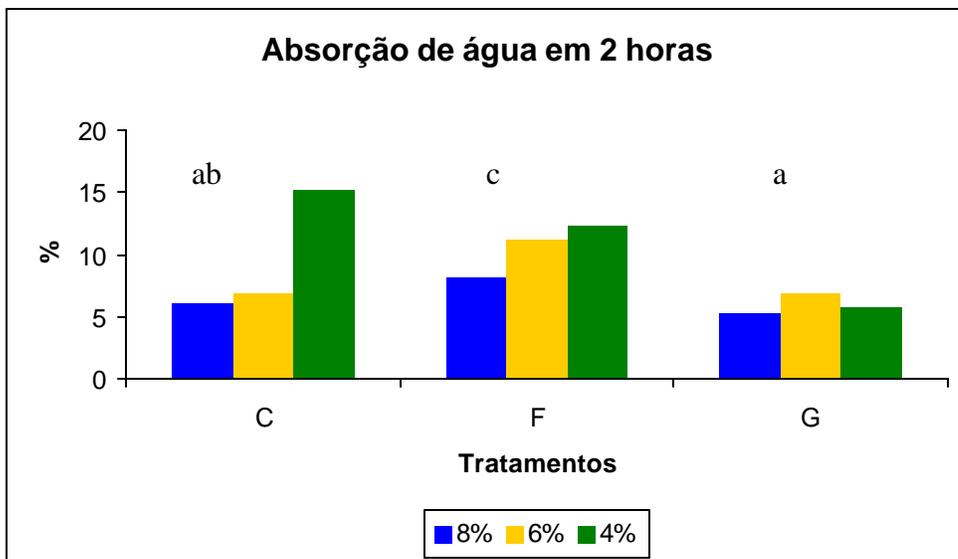


Figura 11. Resultados do teste de absorção de água em 2 horas de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

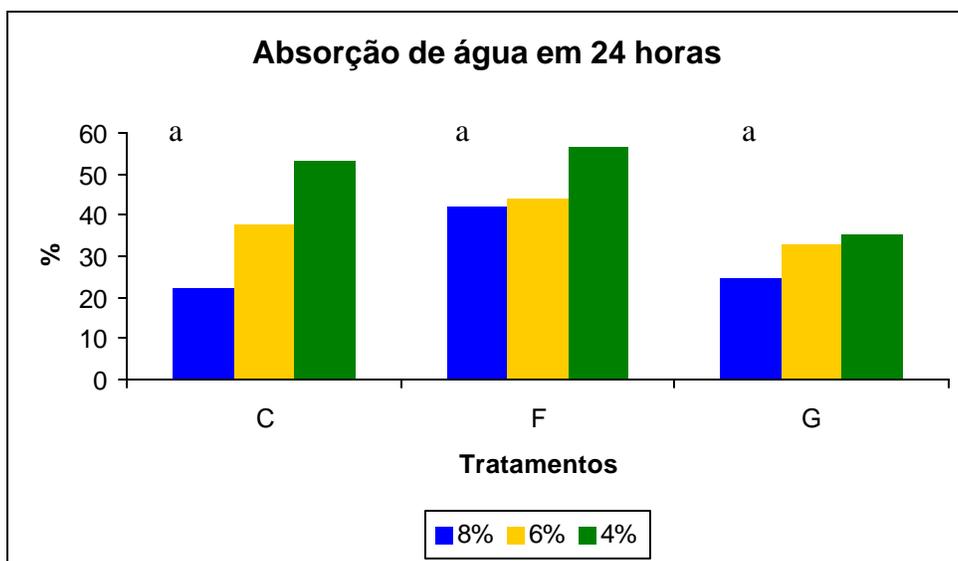


Figura 12. Resultados do teste de absorção de água em 24 horas de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Análise estatística em função

da proporção entre espécies. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

Quadro 7. Valores médios dos testes de absorção de água, inchamento em espessura e expansão linear, em painéis OSB feitos a partir de 3 diferentes estruturas de colchões produzidos com 50 % *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e três taxas de aplicação de adesivo

Tratamento	Absorção de água (%)		Inchamento em espessura (%)		Expansão linear paralela (%)		Expansão linear perpendicular (%)		
	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	
C	8%	6,02a	22,33a	7,94a	17,97a	0,000	0,019	0,000	0,012
	6%	6,92a	37,53ab	10,03a	26,09b	0,019	0,031	0,025	0,000
	4%	15,13a	53,07b	17,92b	34,93c	0,043	0,062	0,012	0,025
F	8%	8,18a	42,08a	8,83a	24,38a	0,006	0,025	0,037	0,025
	6%	11,26a	43,95ab	10,01a	24,04b	0,050	0,056	0,037	0,050
	4%	12,40a	56,58b	16,18b	36,66c	0,019	0,068	0,037	0,075
G	8%	5,26a	24,45a	7,34a	20,98a	0,000	0,000	0,017	0,025
	6%	6,83a	32,99ab	10,38a	27,30b	0,012	0,032	0,037	0,037
	4%	5,71a	35,24b	11,88b	33,34c	0,006	0,006	0,012	0,062

Análise estatística em função do teor de adesivo. Valores em uma mesma coluna, seguidos por uma mesma letra, são idênticos estatisticamente.

Valores mínimos exigidos pela norma CSA O437: IE (24h) = 15%; EL// = 0,35%; EL ⊥ = 0,50%.

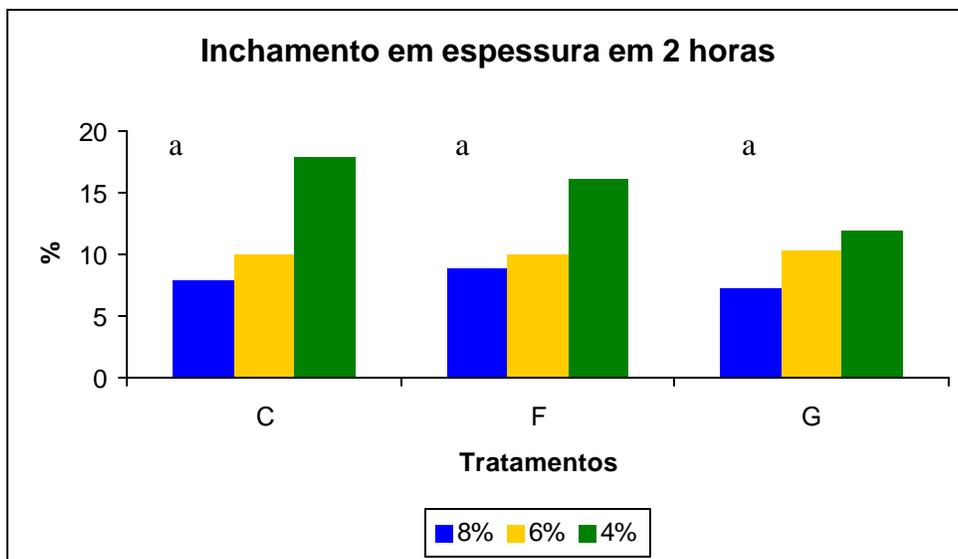


Figura 13. Resultados do teste de inchamento em espessura em 2 horas de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Análise estatística em função da proporção entre espécies. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

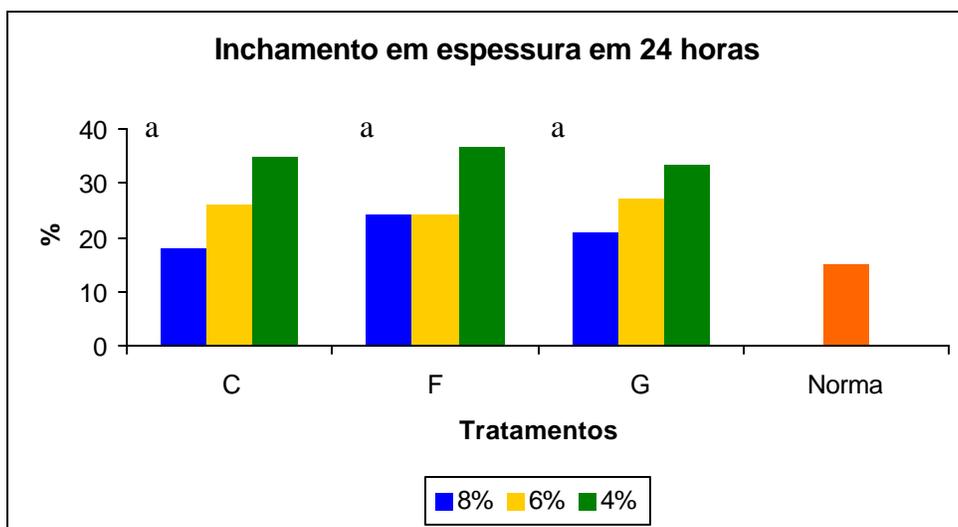


Figura 14. Resultados do teste de inchamento em espessura em 24 horas de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Análise estatística

em função da proporção entre espécies. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

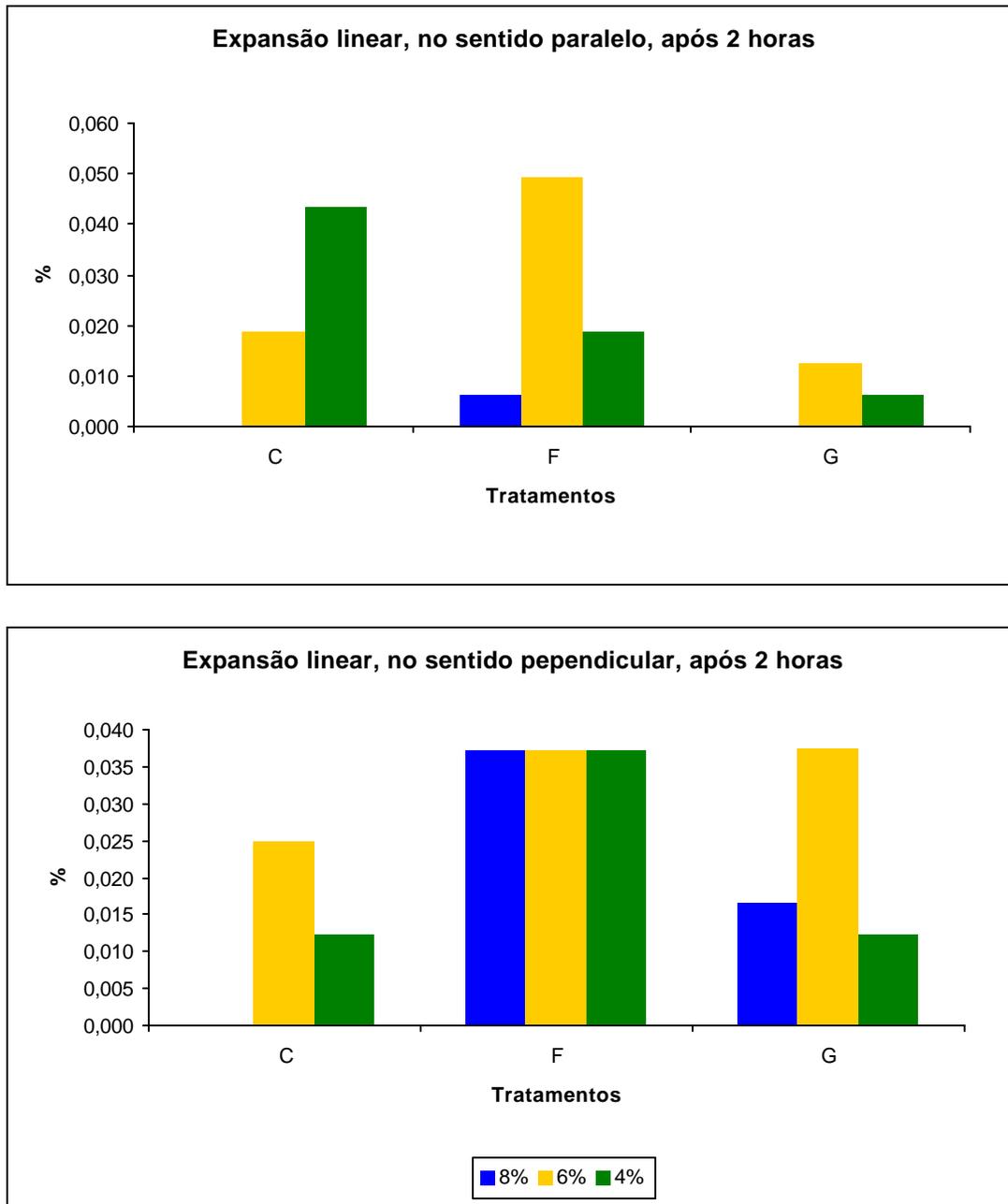


Figura 15. Resultados do teste de expansão linear em 2 horas de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*.

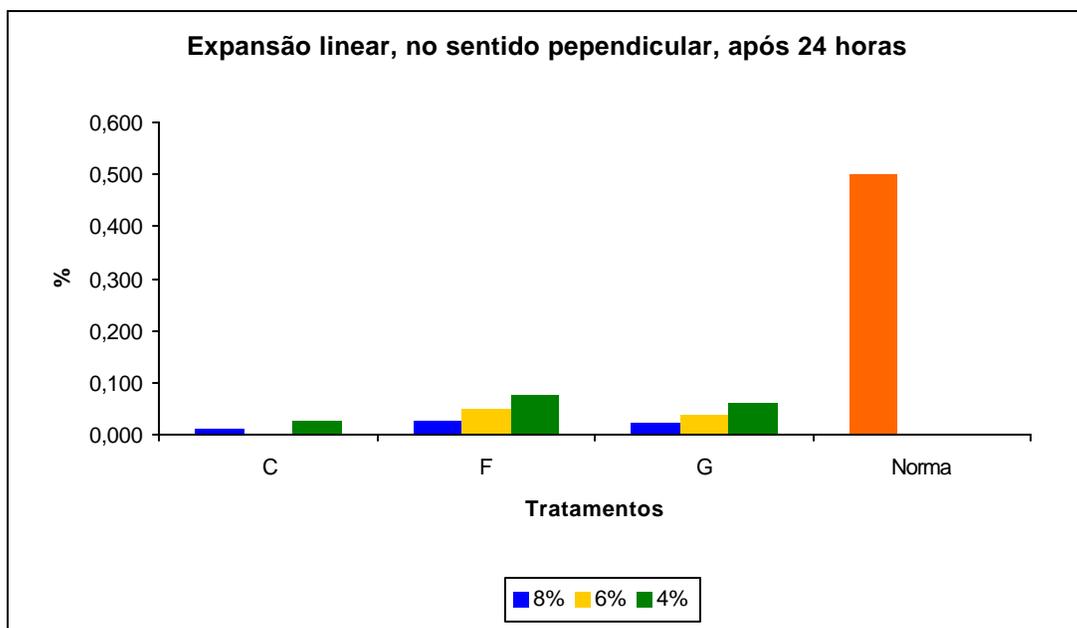
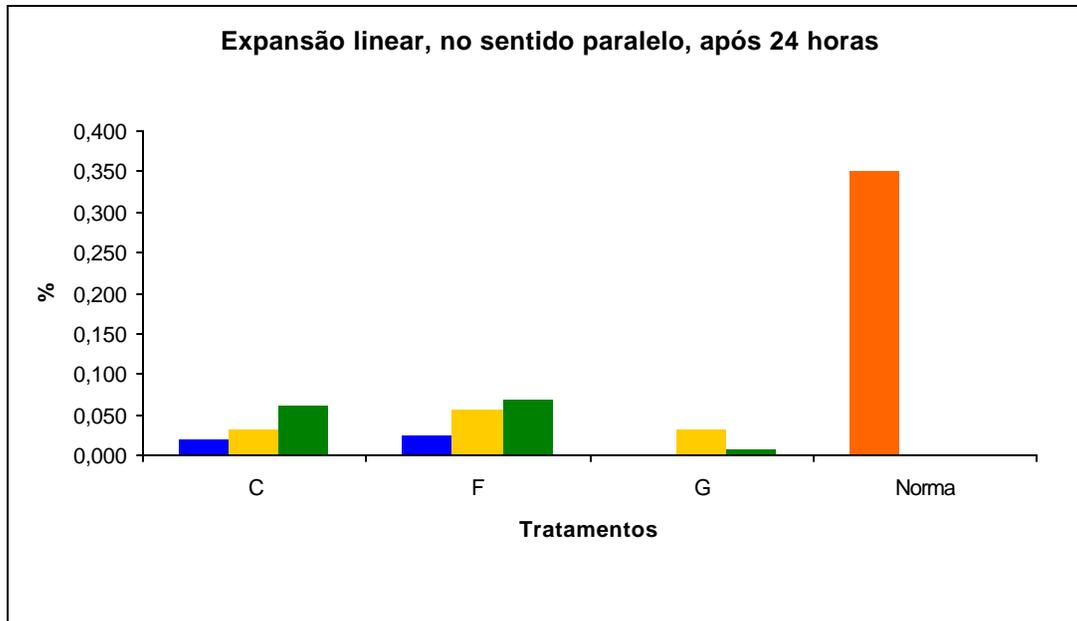


Figura 16. Resultados do teste de expansão linear em 24 horas de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*.

Quadro 8. Valores médios dos testes de flexão estática (MOR e MOE), ligação interna e arranque de parafuso em painéis OSB feitos a partir de 3 diferentes estruturas de colchão, produzidos com 50% *Eucalyptus grandis* e 50% *Pinus elliottii* e três taxas de aplicação de adesivo

Tratamento		Flexão paralela (MPa)		Flexão perpendicular (MPa)		Ligação interna (MPa)	Arranque de parafuso (MPa)
		MOR	MOE	MOR	MOE		
C	8%	43,89a	6838,57a	39,80a	4732,32a	0,706a	2185a
	6%	41,31a	5500,73a	37,65a	4546,16a	0,551a	2001a
	4%	36,89a	6159,55a	30,96b	4213,73a	0,457b	1383b
F	8%	43,19a	6771,22a	35,46a	4875,02a	0,637a	2177a
	6%	37,61a	6159,07a	40,28a	5316,33a	0,705a	2403a
	4%	33,66a	6077,45a	28,37b	4139,82a	0,442b	1654b
G	8%	49,29a	6717,14a	44,31a	5601,92a	0,659a	2025a
	6%	44,29a	6536,05a	39,41a	5125,06a	0,573a	2200a
	4%	41,75a	6004,81a	34,49b	4479,99a	0,552b	1677b

Análise estatística em função do teor de adesivo. Valores em uma mesma coluna, seguidos por uma mesma letra, são idênticos estatisticamente.

Valores mínimos exigidos pela norma CSA O437: MOR // = 29 MPa; MOR ⊥ = 12,4 MPa; MOE// = 5500 MPa; MOE ⊥ = 1500 MPa; LI = 0,345 Mpa; AP = 1498, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin.

Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*.

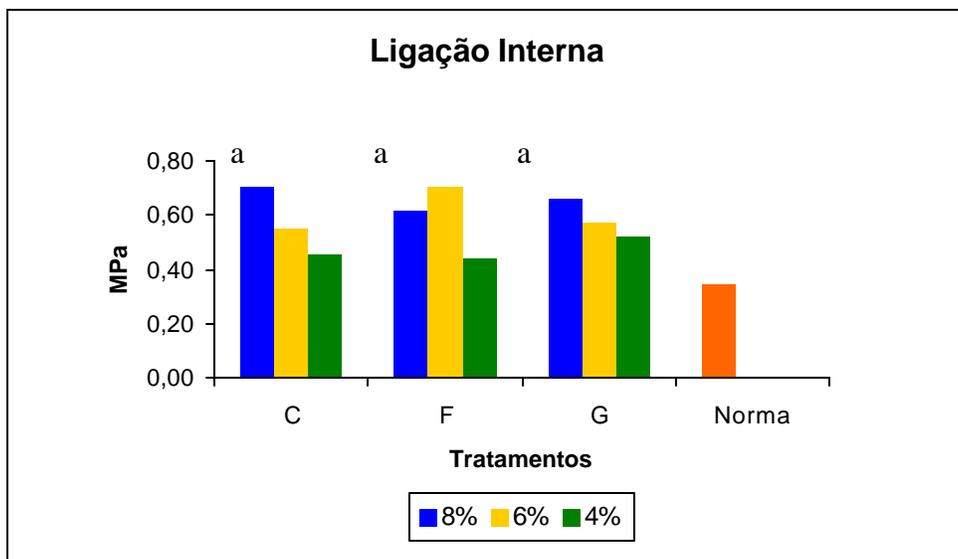


Figura 17. Resultados do teste de ligação interna em painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Análise estatística em função da proporção entre espécies Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

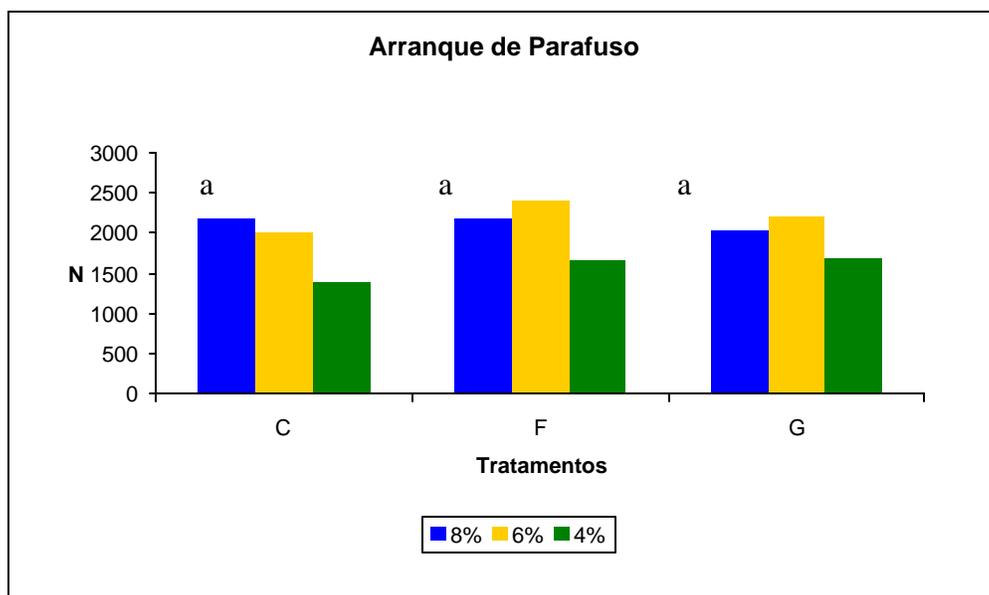


Figura 18. Resultados do teste de arranque de parafuso em painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc:

Eucalyptus grandis; Pin: *Pinus elliottii*. Análise estatística em função da proporção entre espécies. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

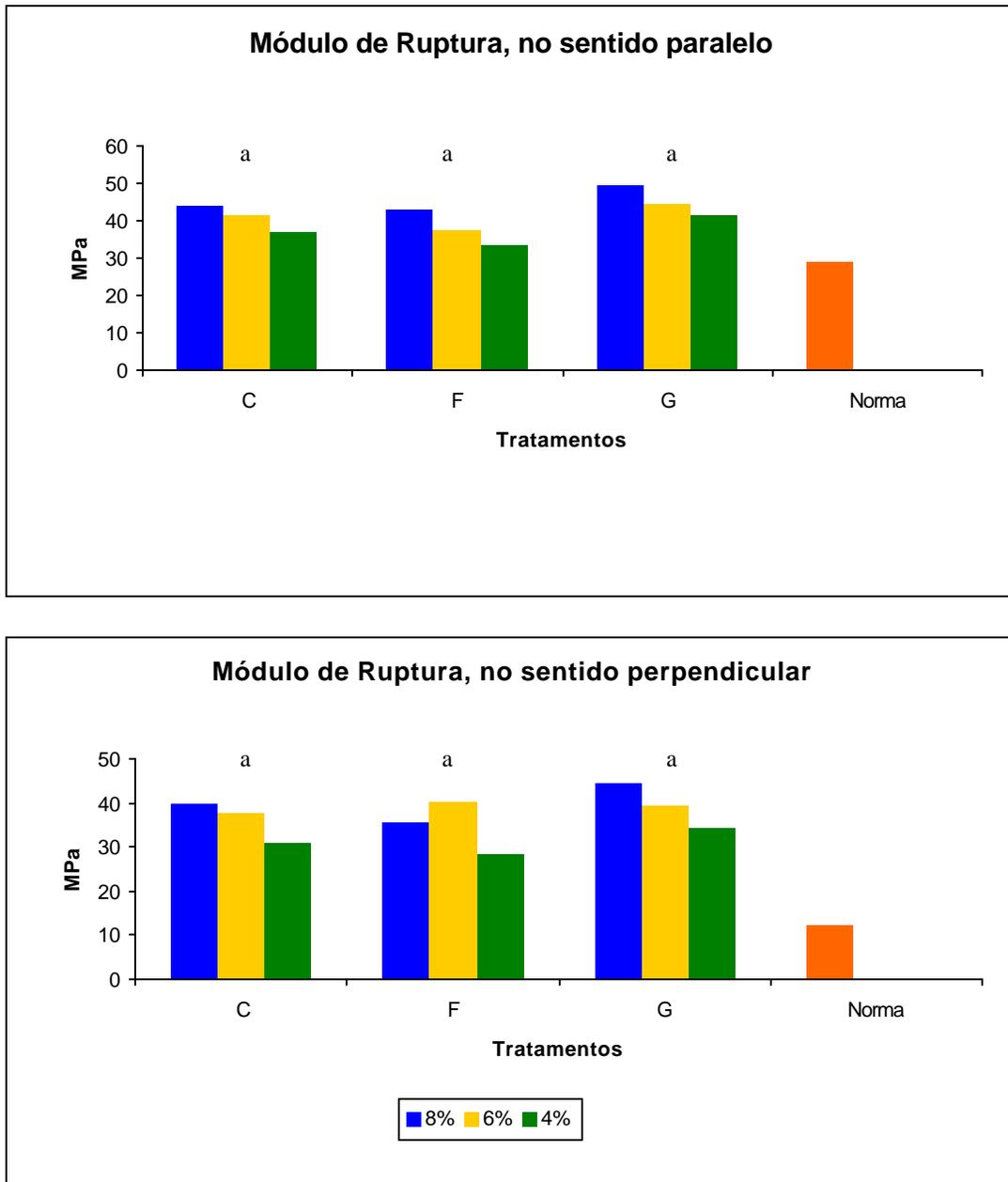


Figura 19. Resultados do teste de flexão estática e módulo de ruptura (MOR) de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Análise estatística em função da proporção entre espécies. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

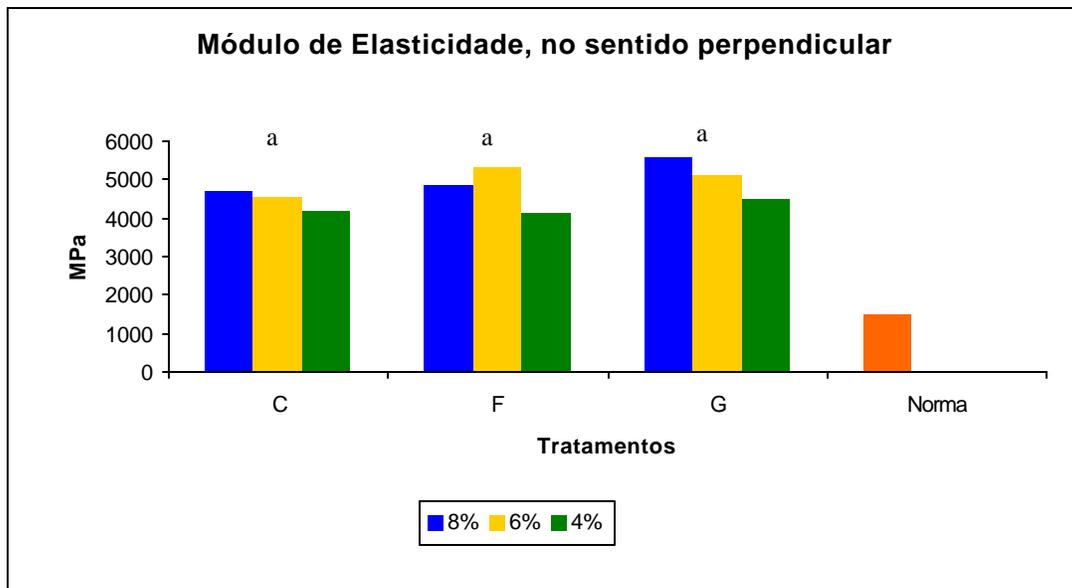
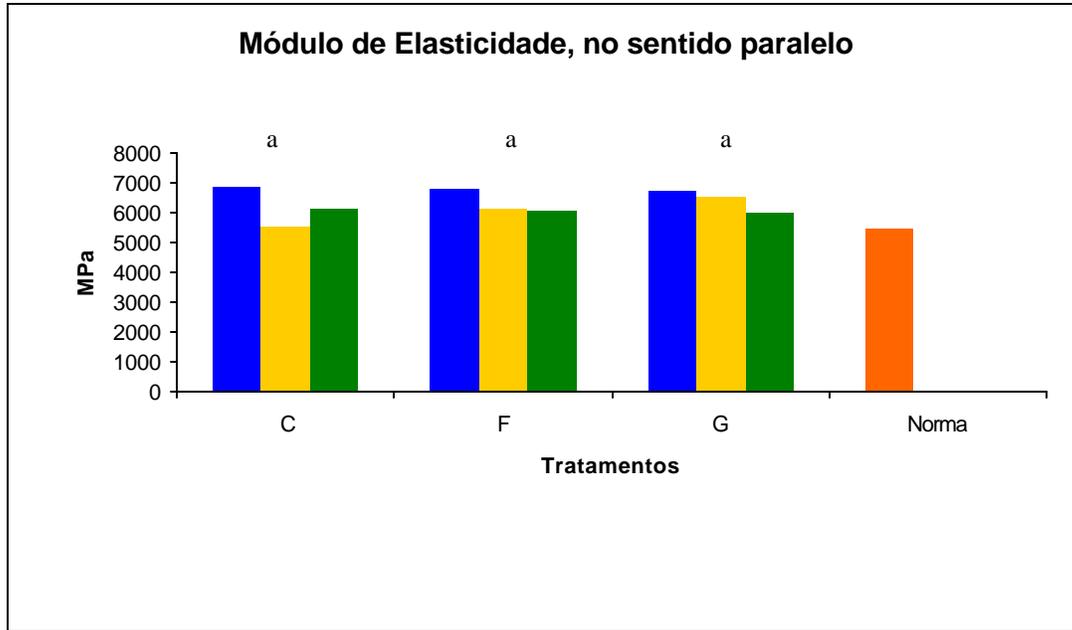


Figura 20. Resultados do teste de flexão estática e módulo de elasticidade (MOE) de painéis OSB produzidos a partir de três estruturas de colchão, para a proporção de 50% entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e 3 taxas de adesivo fenólico, sendo C: misturado; F: camadas Euc/Pin/Euc; G: camadas Pin/Euc/Pin. Euc: *Eucalyptus grandis*; Pin: *Pinus elliottii*. Análise estatística em função da proporção entre espécies. Grupos seguidos por uma mesma letra são idênticos estatisticamente.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho indicam que podem ser produzidos painéis do tipo OSB com características apropriadas para diversas utilizações.

Se o esforço exigido for de resistência a flexão estática e as chapas forem empregadas no sentido paralelo à orientação, tanto os painéis fabricados somente com *Pinus elliottii* quanto aqueles fabricados com 50% de cada espécie são os mais recomendados. Já se o esforço empregado for no sentido perpendicular, devem ser evitados painéis contendo 75% de *Eucalyptus grandis* e 25% de *Pinus elliottii*.

Quando for necessária a utilização de painéis do tipo OSB em que seja exigida resistência a ligação interna, devem ser evitados painéis com 75% de eucalipto e 25% de pinus aglutinados com 4% de adesivo.

Quanto aos teores de adesivo aplicados, os melhores resultados são conseguidos com 6% e 8% de resina fenólica; porém, a maioria dos resultados obtidos com painéis aglutinados com 4% de adesivo é superior ao mínimo exigido pela norma CSA O437-93. Portanto, é possível utilizar menos resina e mesmo assim obter o padrão das normas de qualidade.

No Brasil, os painéis do tipo OSB devem ser feitos, preferencialmente, a partir da mistura de 50% das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, aglutinados com 4% de resina fenólica. Painéis com essa estrutura de colchão, além de terem obtido valores de resistência mecânica superiores aos estabelecidos pela norma comercial que regulamenta os painéis do tipo OSB, são mais satisfatórios do ponto de vista econômico.

A formação do colchão não interfere nas propriedades das chapas; sendo assim, deve-se preferir o tipo de estrutura que melhor se adapte ao maquinário existente na indústria.

Não foram analisadas as propriedades das chapas fabricadas em laboratório em relação às dos painéis utilizados como testemunha, devido à grande diferença entre suas densidades. Todavia, tendo em vista a superioridade dos resultados obtidos em relação às chapas que serviram de testemunha, é possível exportar painéis OSB com qualidade superior à dos comercializados nos Estados Unidos, no Canadá, na Europa e no Japão.

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Fabricar e avaliar painéis OSB com densidade nominal menor ou igual a $0,60 \text{ g/cm}^3$;
- Avaliar a influência de outras formulações de emulsão de parafina, com o objetivo de melhorar as propriedades físicas;
- Diminuir a altura de queda na caixa formadora, com o intuito de otimizar o alinhamento das partículas;
- Realizar testes de degradação acelerada para avaliar a resistência ao ataque de organismos xilófagos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. **Annual Book of ASTM Standards**: Wood. Philadelphia, 1991.

BIBLIS, E. J. Properties of three-layer oriented strand boards from southern hardwoods. **Forest Products Journal**, 35(2):28-32. 1985.

BIBLIS, E. J. Properties of commercial OSB from three southern pine mills. **Forest Products Journal**, 39(1):55-57. 1989.

BOOTLE, K. R. **Wood in Australia**: Types, properties and uses. Hong Kong: Everbest, 1983. 443 p.

BRUMBAUGH, J. Effect of flake dimensions on properties of particle boards. **Forest Products Journal**, May:243-246. 1960.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and waferboard**. Ontario: CSA O437-93, 1993. 18 p.

CARNOS, B. **Madeira aglomerada**: Conceito e utilização. Porto Alegre: SAGRA, 1988. 118 p.

CHEN, Y; POPOWITZ, B. A.; GERTJEJANSEN, R. O.; RITTER, D. C. Paper birch as a core material for aspen oriented strand board and waferboard. **Forest Products Journal**, 42(1):21-24. 1992.

CLOUTIER, A. Oriented strand board (OSB): Raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: Seminário Internacional de Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1. Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 173-185.

COSTA, E. M. A madeira do eucalipto na indústria moveleira. In: Seminário sobre Processamento e Utilização de Madeiras para Reflorestamento, Curitiba, 1996. **Anais...** Curitiba: ABPM, 1996. p. 75-89.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; GONÇALEZ, J. C. Fabricação e avaliação tecnológica da chapa aglomerada de mistura de *Eucalyptus urophylla* T. S. Blake e *Pinus oocarpa* Schiede. **Revista Árvore**, 20(3):371-379. 1996.

DUKE, J. A. **Pinus elliottii Engelm.** Página da internet: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Pinus_elliottii.html. Purdue, 1983.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Eucalyptus for planting**. Roma: FAO, 1981. 677 p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO Statistical Databases Forestry**. Página da internet: <http://apps.fao.org/page/form?collection=Forestry.Primary&Domain=Forestry&servlet=1&language=EN&hostname=apps.fao.org&version=default>. 2000.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: Wood as an engineering material. Washington: USDA/Forest Service, 1999. 466 p.

GEIMER, R. L. Dimensional stability of flakeboards as affected by board specific gravity and flake alignment. **Forest Products Journal**, 32(8):44-52. 1982.

GENERALLA, N. C.; BIBLIS, E. J.; CARINO, H. F. Effect of two resin levels on the properties of commercial southern OSB. **Forest Products Journal**, 39(6):64-68. 1989.

GOUVEIA, F. N.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não orientadas. **Revista Árvore**, 24(1):7-12. 2000.

GROSSMAN, L. M. Expanding your OSB markets with protective coatings. In: International Particleboard / Composite Materials Symposium. Washington, 1992. **Proceedings of The Twenty-Sixth Washington State University**. Washington, 1992. p. 227-235.

HADDOX, K. **Strong economy supports panel growth, stabilization**: Wood technology. Página da internet, 1999.

HALLIGAN, A. F. A review of thickness swelling in particleboard. **Wood Science and Technology**, 4:301-312. 1970.

- HARRIS, R. A.; JOHNSON, J. A. Characterization of flake orientation in flakeboard by the Von Mises probability distribution function **Wood and Fiber Science**, 14(4):254-266. 1982.
- HASELEIN, C. B.; VITAL, B. R.; VALENTE, O. F.; DELLA LUCIA, R. M. Fabricação de chapas de aglomerado com madeiras de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e de embaúba (*Cecropia* sp.). **Revista Árvore**, 13(1):67-84. 1989.
- HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: An introduction**. Iowa: Iowa State University Press, 1982. 495 p.
- HOOVER, W. L.; HUNT, M. O.; LATTANZI, R. C.; BATEMAN, J. H.; YOUNGQUIST, J. A. Modeling mechanical properties of single-layer, aligned, mixed-hardwood strand panels. **Forest Products Journal**, 42(5):12-18. 1992.
- HOWARD, J. L. U.S. forest products annual market review and prospects, 1999-2000. **Research note**. FPL-RNP-0278. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2000. 5 p.
- HSE, C. Y.; KOCH, P.; MCMILLIN, C. W.; PRICE, E. W. Laboratory-scale development of a structural exterior flakeboard from hardwoods growing on southern pine sites. **Forest Products Journal**, 25(4):42-50. 1975.
- IWAKIRI, S.; KEINET JR., S. Utilização de diferentes espécies do gênero *Pinus* para produção de painéis "waferboard". **IPEF**, 43/44:65-69. 1990.
- JANSSENS, D. P. The increasing recognition of oriented strand board (OSB) as a preferred structural panel. Seminário Internacional de Produtos Sólidos de Madeira de alta Tecnologia, 1. Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 169-172.
- KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: FPL, 1977. 66 p.
- KOLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology: Wood based materials**. v. 2. New York: Springer-Verlag, 1975.
- LEHMANN, W. F. Properties of structural particleboards. **Forest Products Journal**, 24(1):19-26. 1974.
- LOWOOD, J. D. OSB: The emerging world class structural wood panel. In: International Particleboard / Composite Materials Symposium. Washington, 1995. **Proceedings of The Twenty-Ninth Washington State University**. Washington, 1995. p. 123-128.
- MCNATT, J. D.; BACH, L.; WELLWOOD, R. W. Contribution of flake alignment to performance of strand board. **Forest Products Journal**, 42(3):45-50. 1992.

- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 682 p.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. v. 1. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 244 p.
- NAHUZ, M. A. R.; WATAI, L. T. Uma visão ampla dos materiais à base de madeira no Brasil. **Silvicultura**, 75:34-38. 1998.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. v. 1. USA: McGraw-Hill, 1964. 705 p.
- PICHELIN, F.; PIZZI, A.; FRÜHWALD, A. Improving oriented strand board properties by using high moisture tolerant adhesives. In: **Proceedings of the International Conference on Wood and Wood Fiber Composites**. Stuttgart, Germany. April 13-15, 2000. Stuttgart: University of Stuttgart / Otto-Gray Institute, 2000.
- PIZZI, A. **Wood adhesives: Chemistry and technology**. v. 1. New York: Marcel Dekker, 1983. 364 p.
- RESCHOP, H. The importance of the utilization of wood-based panels in the German building industry. In: **Proceedings of the Third European Products Symposium**. Llandunno, Wales. 6-8 October, 1999. p. 273-280.
- SANTANA, M. A. E.; TEIXEIRA, D. E. Uso de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas aglomeradas. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7. Curitiba, 1993. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p. 667-672.
- SEAN, T.; BRUNETTE, G.; CÔTÉ, F.; Protection of oriented strand board with borate. **Forest Products Journal**, 49:47-51. 1999.
- SHALER, S. M. Comparing two measures of flake alignment. **Wood Science and Technology**, 26:53-61. 1991.
- SHULER, C. E.; KELLY, R. A. Effect of flake geometry on mechanical properties of Eastern Spruce flake-type particleboard. **Forest Products Journal**, 26(6)24-28. 1976.
- SOUZA, M. R. **Oriented strand board – OSB: Origin and characteristics**. Report. Moscow, University of Idaho / Forest Products Department. 1991.
- STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. Oriented strand board and waferboard. **Technical Bulletin**. Canada, 1994.

- STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. Viscosity of phenol formaldehyde resins. **Technical Bulletin**. Canada, 1995.
- STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. Binders and Waxes in OSB. **Technical Bulletin**. Canada, 1996.
- SUCHSLAND, O. Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards. **Forest Products Journal**, 23(7):26-30. 1973.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.
- VITAL, B. R.; WILSON, J. B. Efeito da forma geométrica dos flocos e partículas, da densidade das chapas e do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas das chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, 4(2):179-187, 1980.
- VITAL, B. R.; WILSON, J. B.; KANAREK, P. H. Parameters affecting dimensional stability of flakeboard and particleboard. **Forest Products Journal**, 30(12):23-29. 1980.
- WANG, S.; WINISTORFER, P. M. The effect of species and species distribution on the layer characteristics of OSB. **Forest Products Journal**, 50(4):37-48. 2000.
- WANGAARD, F. F. **Wood: Its structure and properties**. v. 1. Pennsylvania: Educational Modules for Materials Science and Engineering, 1981. 465 p.
- WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: Effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**, 31(1):28-40. 1999.
- WU, Q. Effect of moisture on bending and breaking resistance of commercial oriented strand boards. **Wood and Fiber Science**, 30(2):205-209. 1998.
- WU, Q.; PIAO, C. Thickness swelling and its relationship to internal bond strength loss of commercial oriented strand board. **Forest Products Journal**, 49(7/8):50-55. 1999.
- WU, Q.; SUCHSLAND, O. Linear expansion and its relationship to moisture content change for commercial oriented strand boards. **Forest Products Journal**, 46(11/12):79-83. 1996.
- WU, Q.; SUCHSLAND, O. Effect of moisture on the flexural properties on commercial oriented strand boards. **Wood and Fiber Science**, 29(1):47-57. 1997.
- XU, W.; SUCHSLAND, O. Modulus of elasticity of wood composite panels with a uniform vertical density profile: A model 1. **Wood and Fiber Science**, 30(3):293-300. 1998.

ZAUSCHER, S.; HUMPHREY, P. E. Orienting lignocellulosic fibers and particles by means of magnetic field. **Wood and Fiber Science**, 29:35-46. 1997.

Tabela 1. Análise de variância relativa à Etapa 1

Fonte	Variável dependente	Soma de quadrado	gl	Quadrado médio	F	Sig.
Modelo corrigido	DENSI.12	8,466E-02(a)	14	6,047E-03	2,003	,054
	AB2H	738,290(b)	14	52,735	1,905	,068
	AB24H	7514,257(c)	14	536,733	5,460	,000
	IE2H	734,647(d)	14	52,475	6,941	,000
	IE24H	1851,572(e)	14	132,255	10,465	,000
	LIGAÇÃO	,914(f)	14	6,529E-02	7,685	,000
	ARRANQUE	55368,311(g)	14	3954,879	3,018	,005
	MOR.PAR	2642,560(h)	14	188,754	4,286	,000
	MOR.PERP	2387,834(i)	14	170,560	4,818	,000
	MOE.PAR	29356367,722(j)	14	2096883,409	6,533	,000
	MOE.PERP	51547895,998(k)	14	3681992,571	3,755	,001
Intercepto	DENSI.12	22,951	1	22,951	7601,259	,000
	AB2H	5151,051	1	5151,051	186,105	,000
	AB24H	70216,076	1	70216,076	714,258	,000
	IE2H	7478,090	1	7478,090	989,198	,000
	IE24H	31170,415	1	31170,415	2466,428	,000
	LIGAÇÃO	15,739	1	15,739	1852,655	,000
	ARRANQUE	1670805,356	1	1670805,356	1274,927	,000
	MOR.PAR	66965,906	1	66965,906	1520,744	,000
	MOR.PERP	52438,779	1	52438,779	1481,430	,000
	MOE.PAR	1523307478,841	1	1523307478,841	4745,901	,000
	MOE.PERP	911116380,081	1	911116380,081	929,179	,000
PROP.E.P	DENSI.12	4,096E-02	4	1,024E-02	3,392	,021
	AB2H	417,960	4	104,490	3,775	,013
	AB24H	4233,655	4	1058,414	10,766	,000
	IE2H	163,722	4	40,930	5,414	,002
	IE24H	99,506	4	24,877	1,968	,125
	LIGAÇÃO	,220	4	5,511E-02	6,487	,001
	ARRANQUE	8326,756	4	2081,689	1,588	,203
	MOR.PAR	1620,933	4	405,233	9,203	,000
	MOR.PERP	1522,321	4	380,580	10,752	,000
	MOE.PAR	16949020,751	4	4237255,188	13,201	,000
	MOE.PERP	33499076,514	4	8374769,128	8,541	,000
ADESIVO	DENSI.12	1,373E-02	2	6,863E-03	2,273	,120
	AB2H	23,204	2	11,602	,419	,661
	AB24H	2153,036	2	1076,518	10,951	,000
	IE2H	462,863	2	231,431	30,614	,000
	IE24H	1650,225	2	825,113	65,289	,000
	LIGAÇÃO	,519	2	,260	30,555	,000
	ARRANQUE	37832,711	2	18916,356	14,434	,000
	MOR.PAR	668,957	2	334,479	7,596	,002
	MOR.PERP	476,648	2	238,324	6,733	,004
	MOE.PAR	2456619,619	2	1228309,810	3,827	,033
	MOE.PERP	649127,156	2	324563,578	,331	,721
PROP.E.P * ADESIVO	DENSI.12	2,997E-02	8	3,746E-03	1,241	,310
	AB2H	297,126	8	37,141	1,342	,262
	AB24H	1127,566	8	140,946	1,434	,223
	IE2H	108,062	8	13,508	1,787	,119
	IE24H	101,840	8	12,730	1,007	,451
	LIGAÇÃO	,174	8	2,180E-02	2,566	,029
	ARRANQUE	9208,844	8	1151,106	,878	,546
	MOR.PAR	352,670	8	44,084	1,001	,456
	MOR.PERP	388,866	8	48,608	1,373	,248
	MOE.PAR	9950727,352	8	1243840,919	3,875	,003

	MOE.PERP	17399692,328	8	2174961,541	2,218	,055
Erro	DENSI.12	9,058E-02	30	3,019E-03		
	AB2H	830,345	30	27,678		
	AB24H	2949,189	30	98,306		
	IE2H	226,793	30	7,560		
	IE24H	379,136	30	12,638		
	LIGAÇÃO	,255	30	8,495E-03		
	ARRANQUE	39315,333	30	1310,511		
	MOR.PAR	1321,049	30	44,035		
	MOR.PERP	1061,922	30	35,397		
	MOE.PAR	9629198,077	30	320973,269		
	MOE.PERP	29416824,286	30	980560,810		
Total	DENSI.12	23,126	45			
	AB2H	6719,685	45			
	AB24H	80679,523	45			
	IE2H	8439,529	45			
	IE24H	33401,123	45			
	LIGAÇÃO	16,908	45			
	ARRANQUE	1765489,000	45			
	MOR.PAR	70929,515	45			
	MOR.PERP	55888,535	45			
	MOE.PAR	1562293044,639	45			
	MOE.PERP	992081100,364	45			
Total corrigido	DENSI.12	,175	44			
	AB2H	1568,634	44			
	AB24H	10463,447	44			
	IE2H	961,439	44			
	IE24H	2230,708	44			
	LIGAÇÃO	1,169	44			
	ARRANQUE	94683,644	44			
	MOR.PAR	3963,610	44			
	MOR.PERP	3449,756	44			
	MOE.PAR	38985565,798	44			
	MOE.PERP	80964720,283	44			

a: R² = ,483 (R² ajustado= ,242)
b: R² = ,471 (R² ajustado= ,224)
c: R² = ,718 (R² ajustado= ,587)
d: R² = ,764 (R² ajustado= ,654)
e: R² = ,830 (R² ajustado= ,751)
f: R² = ,782 (R² ajustado= ,680)

g: R² = ,585 (R² ajustado= ,391)
h: R² = ,667 (R² ajustado= ,511)
i: R² = ,692 (R² ajustado= ,549)
j: R² = ,753 (R² ajustado= ,638)
k: R² = ,637 (R² ajustado= ,467)

Fatores entre grupos

		N
PROP.E.P	0%	9
	25%	9
	50%	9
	75%	9
	100%	9
ADESIVO	4%	15
	6%	15
	8%	15

Teste de Tukey para a proporção entre as espécies utilizadas

Proporção entre eucalipto e pinus: PROP.E.P

Baseado nas médias observadas.

Diferença significativa ao nível de 5%
 Grupos estatisticamente idênticos

DENSI.12
 Tukey HSD

	N	Grupo	
PROP.E.P		1	2
100%	9	,65598	
75%	9	,71465	,71465
50%	9	,72841	,72841
0%	9		,73277
25%	9		,73899
Sig.		,063	,879

AB2H
 Tukey HSD

	N	Grupo	
PROP.E.P		1	2
100%	9	6,7066	
50%	9	9,1996	9,1996
75%	9	9,9534	9,9534
25%	9	11,7870	11,7870
0%	9		15,8481
Sig.		,268	,081

AB24H
 Tukey HSD

	N	Grupo		
PROP.E.P		1	2	3
100%	9	25,7373		
75%	9	33,8322	33,8322	
50%	9	38,0561	38,0561	
25%	9		46,1475	46,1475
0%	9			53,7337
Sig.		,089	,089	,495

IE2H
 Tukey HSD

	N	Grupo	
PROP.E.P		1	2
100%	9	9,6669	
50%	9	11,8343	11,8343
75%	9		13,7305
25%	9		14,4497
0%	9		14,7740
Sig.		,466	,183

IE24H
 Tukey HSD

	N	Grupo
PROP.E.P		1
100%	9	23,7444
50%	9	26,0551
75%	9	26,3728
0%	9	27,2200
25%	9	28,2014
Sig.		,085

LIGAÇÃO
 Tukey HSD

	N	Grupo	
PROP.E.P		1	2
75%	9	,51859	
25%	9	,55301	
50%	9	,57159	
100%	9	,59077	
0%	9		,72303

Sig.		,472	1,000		-----	-	-----	-----
------	--	------	-------	--	-------	---	-------	-------

-----	-	-----	
0%	9	205,11	
-----	-	-----	
Sig.		,207	
-----	-	-----	

ARRANQUE
Tukey HSD

-----	-	-----	
-----	N	Grupo	
-----		-----	
PROP.E.P		1	
-----	-	-----	
75%	9	167,56	
-----	-	-----	
50%	9	189,56	
-----	-	-----	
100%	9	199,22	
-----	-	-----	
25%	9	202,00	

MOR.PAR
Tukey HSD

-----	-	-----	
-----	N	Grupo	
-----		-----	
PROP.E.P		1	2
-----	-	-----	-----
75%	9	31,9589	
-----	-	-----	-----
25%	9	35,2642	
-----	-	-----	-----
100%	9	35,7589	
-----	-	-----	-----
50%	9	40,6975	40,6975
-----	-	-----	-----
0%	9		49,2021
-----	-	-----	-----
Sig.		,063	,075
-----	-	-----	-----

MOR.PERP
Tukey HSD

-----	-	-----	
-----	N	Grupo	
-----		-----	
PROP.E.P		1	2
-----	-	-----	-----
75%	9	23,3868	
-----	-	-----	-----
100%	9		34,7892
-----	-	-----	-----
25%	9		35,3239
-----	-	-----	-----
50%	9		36,1359
-----	-	-----	-----
0%	9		41,0471
-----	-	-----	-----
Sig.		1,000	,196
-----	-	-----	-----

MOE.PAR
Tukey HSD

-----	-	-----	
-----	N	Grupo	
-----		-----	
PROP.E.P		1	2
-----	-	-----	-----
25%	9	5072,7618	
-----	-	-----	-----
75%	9	5128,6525	
-----	-	-----	-----
100%	9		6096,7478
-----	-	-----	-----
50%	9		6166,2793
-----	-	-----	-----
0%	9		6626,4838
-----	-	-----	-----
Sig.		1,000	,298
-----	-	-----	-----

MOE.PERP
Tukey HSD

-----	-	-----	
-----	N	Grupo	
-----		-----	
PROP.E.P		1	2
-----	-	-----	-----
75%	9	3115,3950	
-----	-	-----	-----
50%	9		4497,4037
-----	-	-----	-----
25%	9		4501,4809
-----	-	-----	-----
0%	9		4541,2073
-----	-	-----	-----
100%	9		5842,8635
-----	-	-----	-----
Sig.		1,000	,052

| ----- | - | ----- | ----- |

Teste de Tukey dos teores de adesivos utilizados

Baseado nas médias observadas.
Diferença significativa ao nível de 5%

Grupos estatisticamente idênticos

DENSI.12
Tukey HSD

-----	N	Grupo

ADESIVO		1

4%	15	,69123

6%	15	,71767

8%	15	,73358

Sig.		,105

AB2H
Tukey HSD

-----	N	Grupo

ADESIVO		1

8%	15	9,7326

6%	15	10,9119

4%	15	11,4524

Sig.		,647

AB24H
Tukey HSD

-----	N	Grupo	

ADESIVO		1	2

8%	15	31,1266	

6%	15	39,3109	39,3109

4%	15		48,0666

Sig.		,077	,055

IE2H
Tukey HSD

-----	N	Grupo		

ADESIVO		1	2	3

8%	15	9,4060		

6%	15		12,1197	

4%	15			17,1475

Sig.		1,000	1,000	1,000

IE24H
Tukey HSD

-----	N	Grupo		

ADESIVO		1	2	3

8%	15	19,5620		

6%	15		25,1400	

4%	15			34,2542

Sig.		1,000	1,000	1,000

LIGAÇÃO
Tukey HSD

	N	Grupo		
ADESIVO		1	2	3
4%	15	,45110		
6%	15		,61112	
8%	15			,71197
Sig.		1,000	1,000	1,000

ARRANQUE
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
4%	15	152,60	
6%	15		205,27
8%	15		220,20
Sig.		1,000	,504

MOR.PAR
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
4%	15	33,7415	
6%	15	38,8104	38,8104
8%	15		43,1770
Sig.		,109	,186

MOR.PERP
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
4%	15	30,1042	
6%	15	34,2309	34,2309
8%	15		38,0746
Sig.		,156	,197
4%	15	4453,9974	
8%	15	4664,1859	
Sig.		,716	

MOE.PAR
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
4%	15	5546,5978	
6%	15	5790,9830	5790,9830
8%	15		6116,9744
Sig.		,473	,271

MOE.PERP
Tukey HSD

	N	Grupo
ADESIVO		1
6%	15	4380,8269

Tabela 2. Análise de variância relativa à Etapa 2

Fonte	Variável dependente	Soma de quadrado	gl	Quadrado médio	F	Sig.
Modelo	DENSI.12	1,665E-02(a)	8	2,082E-03	,732	,663
corrigido	AB2H	249,572(b)	8	31,197	2,063	,100
	AB24H	2881,088(c)	8	360,136	4,659	,004
	IE2H	313,454(d)	8	39,182	8,283	,000
	IE24H	1001,669(e)	8	125,209	17,666	,000
	LIGAÇÃO	,220(f)	8	2,744E-02	3,350	,017
	ARRANQUE	26765,038(g)	8	3345,630	6,291	,001
	MOR.PAR	494,762(h)	8	61,845	1,534	,218
	MOR.PERP	553,539(i)	8	69,192	2,194	,083
	MOE.PAR	4709809,646(j)	8	588726,206	1,176	,368
	MOE.PERP	5375809,904(k)	8	671976,238	1,851	,136
Intercepto	DENSI.12	13,734	1	13,734	4830,072	,000
	AB2H	1886,187	1	1886,187	124,716	,000
	AB24H	38566,428	1	38566,428	498,931	,000
	IE2H	3144,935	1	3144,935	664,861	,000
	IE24H	18909,102	1	18909,102	2667,985	,000
	LIGAÇÃO	8,758	1	8,758	1069,145	,000
	ARRANQUE	1027140,711	1	1027140,711	1931,463	,000
	MOR.PAR	43918,307	1	43918,307	1089,165	,000
	MOR.PERP	34672,653	1	34672,653	1099,485	,000
	MOE.PAR	1021579854,550	1	1021579854,550	2041,059	,000
	MOE.PERP	586034301,549	1	586034301,549	1614,270	,000
COLCHAO	DENSI.12	6,557E-03	2	3,278E-03	1,153	,339
	AB2H	93,312	2	46,656	3,085	,072
	AB24H	1168,729	2	584,365	7,560	,004
	IE2H	21,617	2	10,809	2,285	,132
	IE24H	23,978	2	11,989	1,692	,214
	LIGAÇÃO	2,576E-03	2	1,288E-03	,157	,856
	ARRANQUE	2324,150	2	1162,075	2,185	,143
	MOR.PAR	225,387	2	112,694	2,795	,089
	MOR.PERP	104,489	2	52,245	1,657	,220
	MOE.PAR	358065,858	2	179032,929	,358	,704
	MOE.PERP	1435136,339	2	717568,170	1,977	,169
ADESIVO	DENSI.12	2,567E-03	2	1,283E-03	,451	,644
	AB2H	78,117	2	39,059	2,583	,105
	AB24H	1383,431	2	691,715	8,949	,002
	IE2H	252,476	2	126,238	26,688	,000
	IE24H	877,159	2	438,580	61,881	,000
	LIGAÇÃO	,143	2	7,167E-02	8,750	,002
	ARRANQUE	21436,056	2	10718,028	20,154	,000
	MOR.PAR	291,700	2	145,850	3,617	,049
	MOR.PERP	404,940	2	202,470	6,420	,008
	MOE.PAR	2959739,110	2	1479869,555	2,957	,079
	MOE.PERP	3408643,068	2	1704321,534	4,695	,024
COLCHAO *	DENSI.12	5,973E-03	4	1,493E-03	,525	,719
ADESIVO	AB2H	72,042	4	18,010	1,191	,350
	AB24H	348,874	4	87,219	1,128	,376
	IE2H	39,228	4	9,807	2,073	,129
	IE24H	87,341	4	21,835	3,081	,044
	LIGAÇÃO	6,834E-02	4	1,709E-02	2,086	,128
	ARRANQUE	2491,384	4	622,846	1,171	,358
	MOR.PAR	11,996	4	2,999	,074	,989
	MOR.PERP	82,613	4	20,653	,655	,631
	MOE.PAR	1290076,814	4	322519,204	,644	,638
	MOE.PERP	978744,462	4	244686,116	,674	,619
Erro	DENSI.12	4,834E-02	17	2,843E-03		
	AB2H	257,105	17	15,124		
	AB24H	1314,069	17	77,298		
	IE2H	80,414	17	4,730		
	IE24H	120,486	17	7,087		
	LIGAÇÃO	,139	17	8,191E-03		

	ARRANQUE	9040,500	17	531,794
	MOR.PAR	685,490	17	40,323
	MOR.PERP	536,101	17	31,535
	MOE.PAR	8508748,731	17	500514,631
	MOE.PERP	6171570,850	17	363033,579
Total	DENSI.12	14,060	26	
	AB2H	2480,516	26	
	AB24H	44519,908	26	
	IE2H	3681,545	26	
	IE24H	20690,971	26	
	LIGAÇÃO	9,194	26	
	ARRANQUE	1079008,000	26	
	MOR.PAR	45087,062	26	
	MOR.PERP	35736,817	26	
	MOE.PAR	1045178784,474	26	
	MOE.PERP	598988298,349	26	
Total corrigido	DENSI.12	6,499E-02	25	
	AB2H	506,677	25	
	AB24H	4195,157	25	
	IE2H	393,867	25	
	IE24H	1122,155	25	
	LIGAÇÃO	,359	25	
	ARRANQUE	35805,538	25	
	MOR.PAR	1180,252	25	
	MOR.PERP	1089,640	25	
	MOE.PAR	13218558,377	25	
	MOE.PERP	11547380,754	25	

a $R^2 = ,256$ (R^2 ajustado = $-,094$)
b $R^2 = ,493$ (R^2 ajustado = $,254$)
c $R^2 = ,687$ (R^2 ajustado = $,539$)
d $R^2 = ,796$ (R^2 ajustado = $,700$)
e $R^2 = ,893$ (R^2 ajustado = $,842$)
f $R^2 = ,612$ (R^2 ajustado = $,429$)
g $R^2 = ,748$ (R^2 ajustado = $,629$)
h $R^2 = ,419$ (R^2 ajustado = $,146$)
i $R^2 = ,508$ (R^2 ajustado = $,276$)
j $R^2 = ,356$ (R^2 ajustado = $,053$)
k $R^2 = ,466$ (R^2 ajustado = $,214$)

Fatores entre grupos

		N
-----	-	-
COLCHAO	C	9
	F	9
	G	8
-----	-	-
ADESIVO	4%	9
	6%	9
	8%	8
-----	-	-

Teste de Tukey para a estrutura de colchão utilizada

Baseado nas médias observadas.
Diferença significativa ao nível de 5%

Grupos estatisticamente idênticos

DENSI.12
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
F	9	,71527
C	9	,72841
G	8	,76029
Sig.	-	,214

AB2H
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
G	8	6,0317
C	9	9,1996
F	9	10,6098
Sig.	-	,063

AB24H
Tukey HSD

-----	-	-----	
-----	N	Grupo	
COLCHAO	-	1	2
G	8	31,7019	
C	9	38,0561	38,0561
F	9		47,5350
Sig.	-	,315	,093

IE2H
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
G	8	10,1010
F	9	11,6725
C	9	11,8343
Sig.	-	,250

IE24H
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
C	9	26,0551
G	8	27,9419
F	9	28,3626
Sig.	-	,199

LIGAÇÃO
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
C	9	,57159
G	8	,58260
F	9	,59455
Sig.	-	,859

ARRANQUE
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
C	9	189,56
G	8	199,00
F	9	212,22
Sig.	-	,132

MOR.PAR
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
F	9	38,1556
C	9	40,6975
G	8	44,8461
Sig.	-	,102

MOR.PERP
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
F	9	34,6995
C	9	36,1359
G	8	38,9500
Sig.	-	,284

MOE.PAR
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
C	9	6166,2793
F	9	6335,9134
G	8	6410,2338
Sig.	-	,757

MOE.PERP
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
COLCHAO	-	1
C	9	4497,4037
F	9	4777,0585
G	8	5014,4620
Sig.	-	,205

Teste de Tukey dos teores de adesivos utilizados

Baseado nas médias observadas.
Diferença significativa ao nível de 5%

Grupos estatisticamente idênticos

DENSI.12
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
ADESIVO	-	1
8%	8	,72017
4%	9	,73607
6%	9	,74328
Sig.	-	,647

AB2H
Tukey HSD

-----	-	-----
-----	N	Grupo
ADESIVO	-	1
8%	8	6,7252
6%	9	8,3358
4%	9	10,8572
Sig.	-	,098

AB24H
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
8%	8	30,8026	
6%	9	38,1555	38,1555
4%	9		48,2350
Sig.		,220	,071

IE2H
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
8%	8	7,8966	
6%	9	10,1405	
4%	9		15,3257
Sig.		,110	1,000

IE24H
Tukey HSD

	N	Grupo		
ADESIVO		1	2	3
8%	8	20,7770		
6%	9		25,8096	
4%	9			34,9769
Sig.		1,000	1,000	1,000

LIGAÇÃO
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
4%	9	,48365	
6%	9		,60973
8%	8		,66446
Sig.		1,000	,438

ARRANQUE
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
4%	9	160,56	
8%	8		217,63
6%	9		224,67
Sig.		1,000	,803

MOR.PAR
Tukey HSD

	N	Grupo
ADESIVO		1
4%	9	37,4309
6%	9	41,0715
8%	8	45,2406
Sig.		,051

MOR.PERP
Tukey HSD

	N	Grupo	
ADESIVO		1	2
4%	9	31,2723	
6%	9		39,1117
8%	8		39,4579
Sig.		1,000	,991

MOE.PAR
 Tukey HSD

-----	-	-----
	N	Grupo
ADESIVO		1
6%	9	6065,2815
4%	9	6080,6005
8%	8	6811,0834
Sig.		,101

MOE.PERP
 Tukey HSD

-----	-	-----
	N	Grupo
ADESIVO		1
4%	9	4277,8469
6%	9	4995,8503
8%	8	5015,3226
Sig.		,052

