

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO
MECÂNICO DA MADEIRA PARA A FABRICAÇÃO DE
CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lourdes Patricia Elias Dacosta

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO
MECÂNICO DA MADEIRA PARA A FABRICAÇÃO DE
CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS**

Por

Lourdes Patricia Elias Dacosta

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Clóvis Roberto Haselein

Santa Maria, RS – Brasil

2004

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO
MECÂNICO DA MADEIRA PARA A FABRICAÇÃO
DE CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS**

elaborada por

Lourdes Patricia Elias Dacosta

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Clóvis Roberto Haselein
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Elio José Santini

Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

Santa Maria, 26 de janeiro de 2004.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Ida e Moisés

AGRADECIMENTOS

É justo expressar meu profundo agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma colaboraram para a concretização deste trabalho. Agradeço sinceramente:

Ao meu orientador, Clóvis Roberto Haselein pela infinita paciência, amizade e orientação com excelência profissional, sobretudo pela presença em momentos chaves.

Aos professores Elio Santini e Paulo Schneider, pelas recomendações pontuais no decorrer do trabalho e pelo apoio incondicional.

Às Empresas TODESMADE e SATIPEL, pelo fornecimento do material para o início do trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela possibilidade da realização do Mestrado. Em especial, aos professores e funcionários do curso, pela colaboração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Nacional de Assunção, à Faculdade de Ciências Agrárias, especialmente ao Decano da instituição, Eng. Agr. Pedro G. Gonzalez, e a minha diretora, Eng. Agr. Célia Benitez Nara, pela confiança em mim depositada.

A todos os colegas de Pedro Juan Caballero e amigos de Capiatá, pelo incentivo no estudo, proporcionando-me todo o apoio o qual necessitei.

Aos colegas e amigos, Edina, Mário, Federico, Héliida, Kathia, Jaqueline, Carina, Eduardo, Jair, e à família Bortoluzzi, pelos momentos agradáveis e convivência harmoniosa.

Aos colegas do laboratório, Silviana, Cristiane, Dalva, Leandro, Darcy, Tobias, Cristiano e Micheli pela colaboração nos trabalhos experimentais e, fundamentalmente, pela amizade.

Meu maior agradecimento a Deus e ao Divino *Niño Jesús*, por ter-me proporcionado o discernimento e a paciência necessária para a concretização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO MECÂNICO DA MADEIRA PARA A FABRICAÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS

Autor: Lourdes Patricia Elias Dacosta
Orientador: Prof Dr. Clóvis Roberto Haselein
Data e local da defesa: Santa Maria, 26 de janeiro de 2004

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade dos painéis aglomerados confeccionados com resíduos de *Pinus elliotti* (Engelm.), resultantes do processamento mecânico da madeira.

As chapas foram produzidas com dois tipos de resíduos, serragem e maravalha, utilizadas puras ou misturadas.

O adesivo utilizado foi a base de uréia-formaldeído em proporções de 4, 8 e 12 % com base no peso seco das partículas de madeira, e as densidades nominais das chapas foram de 0,6 e 0,7 g/cm³.

Foram avaliadas as propriedades de flexão estática, ligação interna, arrancamento de parafusos, absorção d'água e inchamento em espessura.

Os valores das propriedades de flexão estática aumentaram com a proporção de maravalha, com a densidade da chapa, e com o teor de adesivo.

No caso da ligação interna e do arrancamento de parafusos, os valores foram maiores usando teores de adesivo entre 8 e 12 %, e maior densidade, independente do tipo de resíduo.

Para absorção d'água, usando teor de adesivo entre 8 e 12 %, maior densidade nominal da chapa, e maravalha, os valores foram baixos. O mesmo comportamento foi observado em relação ao inchamento em espessura das chapas.

Observando os resultados, pode-se concluir que usando as partículas do tipo maravalha, misturada com maiores percentagens de adesivo, e maiores densidades, são obtidas chapas com qualidade satisfatória.

ABSTRACT

Dissertation of Master
Post-Graduation Program on Forest Engineering
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

USE OF RESIDUES OF WOOD MECHANICAL PROCESSING FOR THE PRODUCTION OF PARTICLEBOARD

Author: Lourdes Patricia Elias Dacosta

Advisor: Prof Dr. Clovis Roberto Haselein

Date and place of defense: Santa Maria, 26 of January of 2004

The objective of this work was to investigate the quality of particleboard manufactured with residue of slash pine, coming from the wood mechanical processing.

The boards were produced with two types of residues, hammermilled sawmill headrig chips and planer shavings, used pure or mixed.

The adhesive used was urea-formaldehyde resin in proportions of 4, 8 and 12% (based on oven-dry weight of wood particles) and nominal densities were 0,6 and 0,7 g/cm³.

There were evaluated the bending properties, internal bond, screw withdrawal, water absorption and thickness swelling.

The results indicated that the bending properties increased with the proportion of maravalha, with the board density and adhesive content.

Internal bond and screw withdrawal values were larger using adhesive content between 8 and 12% and larger density of the boards, independent of the type of the residue.

For water absorption, using adhesive content between 8 and 12%, larger nominal board density and planer shavings, the values were smaller. The same behaviour was observed in relationship to thickness swelling of the boards.

Observing the results it was possible to conclude that using planer shavings, combined with larger proportions of adhesive and board density, adequate panel can be produced.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Detalhe da amostra de resíduos de serraria na forma original	38
FIGURA 2. Visualização das partículas obtidas para cada tipo de resíduo estudado (A= serragem; B= maravalha)	39
FIGURA 3. Tambor rotativo	41
FIGURA 4. Formação do colchão de partículas.....	42
FIGURA 5. Prensa manual.....	43
FIGURA 6. Prensa hidráulica.....	44
FIGURA 7. Modelo de corte das chapas para a confecção dos corpos de prova.....	45
FIGURA 8. Máquina de ensaios mecânicos	46
FIGURA 9. Amplitude dos valores de densidade observada para os corpos de prova (Do) para cada densidade nominal (Dn)	53
FIGURA 10. Valores de MOR, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 8 %	58
FIGURA 11. Valores de MOR, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 12 %	59
FIGURA 12. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 8 %.	59
FIGURA 13. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 12 %.	60
FIGURA 14. Valores de Ligação interna, observados e ajustados em função da densidade (do) e da proporção de adesivo (ta), para 0% de serragem	65
FIGURA 15. Valores de resistência ao arrancamento de parafusos observados e ajustados em função da densidade (do) e da proporção de adesivo (ta) de 4 a 12 %.	68
FIGURA 16. Valores de absorção de água após 24 horas de imersão (Ab24), observados e ajustados em função da densidade (do), a proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) de 4%.....	72
FIGURA 17. Valores de absorção de água após 24 horas de imersão (Ab24), observados e ajustados em função da densidade (do), a proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) de 12%.....	73

FIGURA 19. Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE24) observados e ajustados em função da densidade (do), a proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) de 12 %.	76
FIGURA 20. Planilha usada para o cálculo das quantidades de produtos utilizados na fabricação das chapas.....	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Relação dos tratamentos aplicados no estudo dos painéis aglomerados, fabricados com resíduos de processamento	49
TABELA 2. Valores médios de densidade nominal e observada, teor de umidade de equilíbrio e teor de umidade do colchão encontradas para os diferentes tratamentos.....	52
TABELA 3. Valores médios de MOR e MOE, encontrados para os diferentes tratamentos	55
TABELA 4. Correlação de Pearson entre as propriedades de flexão estática e as variáveis de fabricação das chapas.....	57
TABELA 5. Equações ajustadas para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação.	61
TABELA 6. Valores médios de ligação interna (LI) encontrados para os diferentes tratamentos	62
TABELA 7. Correlação de Pearson entre a ligação interna e as variáveis de fabricação das chapas.....	64
TABELA 8. Valores médios de arrancamento de parafusos (AP) para os diferentes tratamentos	66
TABELA 9. Correlação de Pearson entre as propriedades de resistência ao arrancamento de parafusos e as variáveis de fabricação das chapas.....	67
TABELA 10. Valores médios de absorção de água, encontrados para os diferentes tratamentos	70
TABELA 11. Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação das chapas	71
TABELA 12. Valores médios de inchamento em espessura, encontrados para os diferentes tratamentos	74
TABELA 13. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (MOR, MOE e AP).....	86
TABELA 14. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (LI)	89
TABELA 15. Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas das chapas (Ab e IE)	95
TABELA 16. Valores médios das propriedades físicas e mecânicas encontrados para os diferentes tratamentos	98

TABELA 17. Análise de variância da regressão para MOR	99
TABELA 18. Análise de variância da regressão para MOE	99
TABELA 19. Análise de variância da regressão para LI.....	99
TABELA 20. Análise de variância da regressão para AP	99
TABELA 21. Análise de variância da regressão para Ab-24 h.....	100
TABELA 22. Análise de variância da regressão para IE-24 h.....	100
TABELA 23. Valores de coeficiente de variação (CV%) das propriedades físicas e mecânicas encontrados para os diferentes tratamentos.....	101

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Planilha de cálculo	85
ANEXO 2 - Valores verificados e utilizados para análise das propriedades mecânicas das chapas: MOR, MOE, AP e LI.	86
ANEXO 3 - Valores verificados e utilizados para análise das propriedades físicas das chapas: Ab e IE.	95
ANEXO 4 - Valores médios verificados e utilizados para análise das propriedades físicas e mecânicas	98
ANEXO 5 - Análise de variância da regressão	99
ANEXO 6 - Valores de coeficiente de variação para as propriedades físicas e mecânicas..	101

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Matéria-prima utilizada na manufatura de painéis aglomerados	18
2.1.1 Madeira roliça	18
2.1.2 Resíduos	19
2.1.2.1 Resíduos de serrarias	19
2.1.2.2 Resíduos de agricultura	20
2.1.3 Adesivos e aditivos	21
2.1.3.1 Adesivos	21
2.1.3.2 Aditivos	23
2.2 Qualidade das chapas	25
2.3 Partículas de madeira	26
2.3.1 Geometria das partículas.	27
2.3.2 Efeito da massa específica da madeira sobre as chapas de partículas.....	30
2.3.3 Efeito da umidade da madeira sobre as chapas de partículas	31
2.3.4 Efeito das características anatômicas da espécie de madeira sobre as chapas de partículas	32
2.4 Parâmetros técnicos de produção	32
2.4.1 Características da espécie	32
2.4.2 Material utilizado	33
2.4.3 Quantidade de resina	34
2.4.4 Densidade da chapa.....	35
3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1 Matéria-prima	37
3.2 Preparação das matérias-primas	37
3.2.1 Processamento dos resíduos	37
3.2.2 Determinação do teor de sólidos do adesivo e aditivo	39
3.3 Fabricação das chapas	40
3.3.1 Planilha de cálculos	40
3.3.2 Processo de produção	41
3.4 Testes físico –mecânicos	45

3.4.1 Absorção d'água e inchamento em espessura	46
3.4.2 Flexão estática.....	47
3.4.3 Arrancamento de parafusos	48
3.4.4 Tração perpendicular à superfície da chapa	48
3.5 Modelo experimental e análise dos resultados	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Propriedades físicas das chapas.....	51
4.1.1 Densidade	51
4.1.2 Teor de umidade do colchão.....	53
4.1.3 Teor de umidade de equilíbrio	54
4.1.4 Teor de umidade das partículas.....	54
4.2 Propriedades mecânicas das chapas, relacionadas com as variáveis de fabricação	54
4.2.1 Resistência à flexão estática (MOR e MOE).....	54
4.2.2 Tração perpendicular à superfície da chapa (Ligação interna).....	62
4.2.3 Arrancamento de parafusos	65
4.3 Propriedades físicas das chapas relacionadas com as variáveis de fabricação	69
4.3.1 Absorção d'água e inchamento em espessura.....	69
4.3.1.1 Absorção d'água.....	69
4.3.1.2 Inchamento em espessura	73
5 CONCLUSÕES.....	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
7 ANEXOS	84

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das chapas de partículas tem revolucionado a industrialização da madeira ao aumentar consideravelmente o rendimento da matéria-prima. Embora possam ser encontrados vestígios das chapas na cultura egípcia, há 3000 anos, sua aparição de forma generalizada ocorreu apenas há um século, por duas razões: uma para conseguir superfícies largas, cada vez mais difíceis de serem encontradas na madeira maciça; e outra para buscar uma maior homogeneidade do produto (Vignote & Jiménez, 1996).

O painel aglomerado ou de partículas foi desenvolvido durante e em anos posteriores à Segunda Guerra Mundial, sendo que, no Brasil surgiu na década de 60 (Tomaselli, 1998). Atualmente, não se pode prescindir de seu uso na indústria da construção civil e, particularmente, na indústria de móveis e divisórias.

Em princípio, todo e qualquer material lignocelulósico pode ser utilizado como matéria-prima para a fabricação de chapas de partículas, entretanto só as madeiras de folhosas e de coníferas se apresentam como fonte permanente e ininterrupta de elementos lignocelulósicos para a produção desses produtos. No Brasil, a madeira utilizada para a produção de painéis aglomerados provém, em sua totalidade de florestas plantadas.

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

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

Nos países do Hemisfério Norte, restrições no suprimento de madeira levaram ao crescimento da reciclagem na produção de painéis reconstituídos, particularmente na produção de aglomerados e MDF.

Dessa forma, a produção de painéis de partículas tem como objetivo aproveitar resíduos da indústria madeireira e toras de pequeno diâmetro, que não são utilizados em

serrarias e laminadoras (Galvão, 2000). Como resíduos industriais é possível utilizar os provenientes de serrarias, fábricas de chapas e móveis.

Os resíduos da indústria de transformação mecânica da madeira são considerados como um dos maiores problemas no setor florestal, não só pelos custos que demandam no seu armazenamento ou destino, mas também porque são causadores da contaminação ambiental (CONAF, 1995).

Fagundes (2003) comenta que a possibilidade da utilização de sobras e resíduos de madeira na fabricação de painéis e chapas de madeira reconstituída serve para aumentar a sustentabilidade na utilização das florestas, especialmente das plantadas, como insumo na produção madeirável.

Segundo a FAO (1975), os fatores que contribuíram para o progresso tecnológico da indústria de painéis de madeira foram:

- a) A substituição de matéria-prima e, sobretudo, a necessidade de empregar madeiras novas de inferior qualidade.
- b) A necessidade de elevar a produtividade na fabricação e na aplicação dos painéis.
- c) A necessidade de economizar a matéria-prima e de reduzir ao mínimo os desperdícios.
- d) As exigências quanto à resistência e às demais características técnicas dos painéis.
- e) A maior severidade das restrições ambientais.

Sabe-se que a indústria de chapas aglomeradas de madeira utiliza quantidades grandes de serragem e cavacos e, em menor extensão, resíduos processados em moinhos e materiais homogêneos do desperdício produzido por outras indústrias de madeira.

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

É importante então, otimizar a utilização desses resíduos madeiráveis como fonte de matéria-prima para esse propósito, logrando assim a sustentabilidade dos benefícios sociais, econômicos e empresariais.

De modo geral, a finalidade da reciclagem é procurar soluções produtivas aos resíduos, tentando dar um valor agregado ao processamento da madeira, o que contribui para diminuir as perdas e os problemas da matéria-prima.

Em razão destes fatores, é de fundamental importância o desenvolvimento de pesquisas que permitam a otimização da produção de chapas aglomeradas, considerando os parâmetros técnicos e as propriedades físicas e mecânicas envolvidas, com a intenção de atingir um melhor rendimento da matéria prima utilizada e menor custo industrial .

Baseando-se nisso, o presente estudo foi realizado com os seguintes objetivos:

- Avaliar a qualidade dos painéis aglomerados confeccionados com resíduos de pinus resultantes do processamento mecânico da madeira;
- Determinar o efeito dos diferentes tratamentos nas propriedades físico-mecânicas dos painéis;
- Estabelecer ajustes de modelos matemáticos, utilizando-se análise de regressão e relacionando as variáveis de produção com as características físico-mecânicas dos painéis produzidos;
- Comparar as propriedades do painel fabricado com as recomendadas pelas normas de comercialização.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matéria-prima utilizada na manufatura de painéis aglomerados

A matéria-prima pode resultar de madeira extraída das florestas ou reflorestamentos, bem como do aproveitamento de resíduos industriais florestais ou de agricultura com a finalidade direta de abastecer a indústria de chapas aglomeradas.

Segundo Roque (1998), as fábricas de madeira aglomerada utilizam, principalmente, as seguintes fontes de matéria-prima:

- a) resíduos industriais (serrarias, fábricas de móveis e de chapas);
- b) resíduos provenientes de exploração florestal (toras curtas, galhos etc);
- c) madeiras de qualidade inferior, não industrializáveis de outra forma;
- d) madeira proveniente de trato cultural de florestas plantadas; e,
- e) reciclagem de madeira sem uso (demolições, etc).

2.1.1 Madeira roliça

Segundo Hillig (2000), chapas aglomeradas podem ser fabricadas a partir de toras de pequeno diâmetro, resíduos e madeira com menor densidade.

O fácil acesso às espécies e às qualidades preferidas está diminuindo rapidamente com o crescimento do consumo, possibilitando-se o emprego de toras de diâmetro de tamanho menor, sobretudo de coníferas, e também de folhosas em número cada vez maior de espécies menos utilizadas e menos abundantes individualmente, utilizando-se também misturas de madeiras tropicais e cavacos de madeira de desbastes feitos num mesmo povoamento (FAO, 1975).

Segundo Galvão (2000) e Iwakiri *et al.* (2001), no Brasil, utiliza-se quase que exclusivamente a madeira de reflorestamento como matéria-prima, tanto do gênero *Pinus* como do *Eucalyptus*. Keinert (1993) afirma que essas madeiras são as preferidas devido ao crescimento rápido, à rotação curta e às altas taxas de retorno.

2.1.2 Resíduos

Akers (1966) cita como material lignocelulósico para ser usado na fabricação das chapas os resíduos florestais, os resíduos da indústria madeireira e os resíduos de cultivos anuais.

Segundo Smith (1997), o desafio da implementação do uso de resíduos de madeira para fabricar aglomerados consiste em observar os contaminantes que possam aparecer junto com eles, os quais podem ser removidos antes que o material seja moído. As três categorias principais de contaminantes são os contaminantes duros (metais, pedras, cerâmicas e concreto), os contaminantes macios (plástico, borracha, produtos de silicone e tecidos), a sujeira, a lama e a areia.

Para poder passar o material reciclado de madeira no moinho, o autor recomenda controlar o tamanho, a geometria, a densidade, o teor de umidade e as demais características de manipulação.

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

2.1.2.1 Resíduos de serrarias

Segundo Olandoski *et al.* (1998), as serrarias passaram a encontrar dificuldades na adequação do sistema do desdobro, porque a madeira de *Pinus* difere das nativas, principalmente em relação à forma das dimensões, proporcionando baixo rendimento e gerando muitos resíduos, os quais geralmente não são aproveitados.

Ayala *et al.* (2002) comentam que, do total de madeira comprida que chega nas serrarias, 55 % é transformado em resíduos totais.

Para Fagundes (2003), a geração de resíduos nas serrarias do estado do Rio Grande do Sul situa-se numa faixa entre 35 e 45 % para pinus e entre 40 e 50 % para as serrarias de madeira de eucalipto.

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

Vignote & Jiménez (1996) comentam que a casca é a parte mais externa formada por matéria morta de aspecto quebradiço, motivo pelo qual a árvore segue crescendo em espessura, enquanto que a casca não. A presença de casca no resíduo diminui a qualidade da superfície das chapas assim como a sua resistência. Devido a isto, o resíduo tem menor aceitação no mercado.

Os cavacos referem-se às aparas das pontas e laterais das tábuas (destopos e refilos), pranchas ou outras peças de secções quadradas ou retangulares.

As costaneiras são as peças externas obtidas quando da primeira linha de desdobro das toras de madeira.

A serragem ou pó de serra é o produto da passagem da serra de redução na tora, formada por pequenas partículas de madeira cujo volume é significativo. No caso do Rio Grande do Sul, é o resíduo de menor interesse para o mercado, por ser de elevada impureza, mas que se apresenta em maior volume nos pátios das serrarias.

A maravalha é constituída pelos resíduos do aplainamento das peças de madeira após o seu desdobro, sendo comumente encontrada nas indústrias de beneficiamento da madeira, pois, em geral, somente é realizado com a madeira seca (Fagundes, 2003).

Brand *et al.* (2002) classificaram os resíduos de madeira em verde e seco, separando em serragem, cavacos e maravalha, e observaram que cavacos e maravalha foram mais homogêneos que a serragem na granulometria. Os tamanhos observados foram: serragem com 50% das partículas entre 2 e 4mm; 82% da maravalha e 85% dos cavacos acima de 6,35mm.

2.1.2.2 Resíduos de agricultura

Os resíduos de palha de linho e o bagaço da cana-de-açúcar são as principais matérias-primas não lenhosas dentre outras como os talos de juta, de bambu, e de algodão e o linho de

óleo que se empregam na fabricação de painéis de partículas (FAO, 1968; Fuentes *et al.*, 1991; Roque, 1998).

Essas chapas de resíduos agrícolas são fabricadas com densidades entre 0,25 e 0,75 g/cm³ (Ginzel & Peraza, 1966).

Algumas causas que influenciam a resistência do painel fabricado com resíduos agrícolas incluem a cera, os tipos de célula da planta, que ocasionam laços fracos entre as partículas, e os extrativos, que afetam a cura da resina (Loxton & Hague, 1997). Os autores recomendam que sejam considerados o tamanho das partículas, a formulação de resina e os pré-tratamentos para remover ceras, extrativos, etc.

Okino *et al.* (1997), no seu estudo sobre a resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar usando dois tipos de adesivos, observou que as chapas com tanino foram bem superiores às aquelas com uréia, no que diz respeito às propriedades de absorção, inchamento e flexão estática.

Rijo (1988), em seu estudo sobre aglomerados de bambu, observou que, aumentando-se o conteúdo de resina, melhora a ligação interna em todas as densidades aplicadas.

Teixeira *et al.* (1997) observaram que as chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar apresentaram uma resistência natural da madeira à deterioração pelos fungos dos gêneros *Pycnoporus* e *Gloeophyllum*.

2.1.3 Adesivos e aditivos

2.1.3.1 Adesivos

Skeist (1990) comenta que os adesivos são substâncias que unem materiais, criando um todo que é maior que a soma de suas partes.

Peredo (1991) confirma o mesmo, dizendo que os adesivos são utilizados para obter coesão e aderência entre as partículas do aglomerado.

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

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

Segundo Akers (1966), deve-se utilizar uma quantidade relativamente pequena de resina a qual varia entre 4 e 12% de sólidos de resina de acordo com o peso seco das partículas. FAO (1968), por outro lado, afirma que se deve fazer uso de 6 a 7 % de resina (peso da resina seca).

Segundo Ginzler & Peraza (1966), os fatores dos quais depende esta adesão específica são de caráter físico e químico. Na cola, por exemplo, influi a tensão superficial e a viscosidade, no que se refere à película formada pela cola, o módulo de elasticidade e a resistência à deformação.

Os principais adesivos comercialmente empregados na indústria de madeira aglomerada são aqueles de origem sintética e que apresentam a propriedade de se tornarem termorrígidos pela ação do calor ou de catalisadores específicos. Assim, são amplamente empregados com este propósito os adesivos de fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e isocianatos sem extensores ou cargas (Maloney, 1989; Kollman *et al.*, 1975; USDA, 1999). Outros adesivos interessantes são a melamina-formaldeído e o poli-isocianato, porém pouco utilizados (Maloney, 1989), e o tanino-formaldeído que possui boa resistência à água, estando em uma posição intermediária entre as colas uréicas e as colas fenólicas (Hillig, 2000). Em mais de 95 % dos materiais de chapas utilizados no interior das casas, usa-se a cola uréia-formaldeído ou outras resinas baseadas na uréia (Michanicki, 1997).

A resina de uréia é notavelmente versátil, usada para unir todos os elementos de madeira, e consideravelmente menos custosa que as resinas fenólicas ou resorcinólicas. Ela pode ser formulada para curar a temperaturas elevadas, entre 50 e 150°C (Marra, 1992; Haselein & Pauleski, 2003; USDA, 1999; Vignote & Jiménez, 1996).

Os produtos fabricados com a resina de UF são projetados para aplicações em interiores. A cor clara desta resina a torna totalmente satisfatória para a fabricação de produtos decorativos (USDA, 1999).

Seus principais usos incluem colagem de vigas laminadas, trabalhos em marcenaria e fabricação de móveis, e, em larga escala, na fabricação de aglomerados, MDF e compensados. Comercialmente, pode ser encontrada na forma de pó, filme e solução aquosa. A cola pode ser armazenada por vários meses a temperaturas de 10 a 15 °C (Haselein & Pauleski, 2003).

A uréia formaldeído é uma cola de tempo de vida muito limitada (em torno de 4 horas), por isso deve ser formulada um momento antes de ser utilizada, misturando-se a resina com o catalisador e endurecedor (Vignote & Jiménez, 1996; Haselein & Pauleski, 2003).

A mudança mais perceptível nesta resina é o aumento de viscosidade. O líquido de baixa-viscosidade é o primeiro a formar-se e logo muda em líquido de alta-viscosidade. A água de excesso é eliminada até alcançar uma concentração de sólidos de resina de 64 a 65% e o pH é ajustado para alcançar uma vida de armazenamento satisfatória (Pizzi, 1994).

Segundo o autor, as vantagens do uso de adesivos de UF são solubilidade em água inicial, dureza, não-inflamável, propriedades térmicas boas, ausência de cor na cura dos polímeros, fácil adaptabilidade para uma variedade de condições de cura. E, como desvantagens o autor cita a falta de resistência à água pela deterioração dos laços químicos e a suscetibilidade para emissão de vapores de formaldeído.

Segundo Vignote & Jiménez, (1996), as colas utilizadas na fabricação das chapas contêm formaldeído em excesso. McRedie (1992) comenta que as emissões de formaldeído da uréia-formaldeído, que é usado na produção de painéis de madeira, diminuíram 75 a 90% desde 1980.

Os problemas causados pelo uso de formaldeído variam de problemas de irritação a cancerígenos em concentrações a partir de $0,33 \text{ mg/m}^3$ (Vignote & Jiménez, 1996; McRedie, 1992).

Segundo Marra (1992), o pH da madeira, muitas vezes, entra em conflito com o adesivo. Também os adesivos que curam sob atuação de catalisadores ácidos, a exemplo das uréias, provocam o inconveniente de uma cura demasiadamente rápida em madeiras ácidas, o que pode ocorrer numa indústria de chapas de partículas, ocasionando uma pré-cura antes da prensagem do painel.

2.1.3.2 Aditivos

O elemento aditivo é uma emulsão de cera de parafina que está incorporado na chapa por muitos fabricantes, como um retardante de absorção de água. A quantidade usada deve ser pequena, sendo que aproximadamente 1% é considerada satisfatória (Ginzel & Peraza, 1966).

Segundo FAO (1968), utilizam-se produtos hidrófobos para regular a absorção d'água e o aumento da espessura. A cera de parafina (0,4 a 0,6 % de cera em peso) e outras

substâncias hidrófobas análogas utilizam-se em forma de emulsão misturando-se com as resinas, ou por pulverização, separadamente.

Quanto à absorção d'água, Ginzler & Peraza (1966) comentam que esse fenômeno não é possível de ser evitado totalmente. O problema é resolvido aplicando-se parafinas ou ceras minerais, que geralmente se empregam em emulsões de concentração variável entre 35 e 65 %. Os autores citam ensaios que avaliaram os efeitos da parafina, cuja adição diminuiu a absorção d'água e o inchamento da chapa, usando-se, na prática, valores em torno de 3 a 5 % sobre o teor de adesivo sólido.

Brito (1995) observou, no seu trabalho, que o efeito de parafina, numa proporção de 0 a 1 %, foi significativo na redução da absorção de água e inchamento em espessura, tanto para 2 horas como para 24 horas de imersão.

A rejeição de água provida pela cera não tem nenhum efeito em mudanças dimensionais ou absorção de água de combinações expostas a condições de equilíbrio (USDA, 1999).

Outros elementos aditivos que podem ser considerados são os inseticidas, os fungicidas e as substâncias químicas retardantes de fogo. O pentaclorofenol e as substâncias químicas para proteção contra insetos e fungos podem ser utilizados, bem como o bórax, que pode ser incorporado à mistura para retardar o fogo (Akers, 1966; Roque, 1998; USDA, 1999).

Os sais empregados como catalisadores têm como função reduzir o pH da resina uréica de aproximadamente 7,0 para 4,0, provocando desta forma a sua cura (polimerização). Esses sais reagem com o formol, gerando os ácidos correspondentes, sendo estes os que geram o abaixamento do pH (Pizzi, 1994)

Segundo o autor, os catalisadores empregados para a cura do adesivo são normalmente sais de amônia, como o cloreto de amônia e o sulfato de amônia, os quais são usados em soluções aquosas em concentrações que variam de 15 a 20%. Hillig (2000) comenta que essas soluções, muitas vezes, fornecem também a quantidade de água necessária para a obtenção de umidade final desejada para as camadas de partículas, tanto externas quanto internas.

Para o sulfato de amônia, são empregadas quantidades variando de 0,8 a 1% de sólidos de sulfato de amônia, para a camada externa do painel e de 1,2 a 1,5% de sólidos de sulfato de amônia para a camada interna, em relação à quantidade de sólidos de resina aplicada (Pizzi, 1994).

2.2 Qualidade das chapas

A dureza das chapas é superior à madeira maciça, ocasionando maiores dificuldades de trabalhabilidade, bem como o fato da cola incorporada à chapa atuar, como abrasivo nas ferramentas de trabalho.

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

Segundo Iwakiri (1989), o módulo de ruptura está correlacionado principalmente com a densidade da chapa, o nível de adesivo empregado, a taxa de compressão e a orientação e geometria das partículas.

Moslemi (1974) comenta que a resistência ao arrancamento de parafusos aumenta em chapas de maior densidade e com nível mais elevado de adesivo.

Com relação às propriedades físicas, o cambio dimensional da chapa de partículas afeta principalmente a espessura da mesma (Vignote & Jiménez, 1996).

O inchamento em espessura constitui-se em uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional em painéis. Esta propriedade pode ser afetada pela espécie da madeira, geometria das partículas, densidade dos painéis, teor de resina, teor de parafina, eficiência na aplicação da cola e condições de prensagem (Brito, 1995).

No Brasil, onde são utilizados unicamente como matéria-prima os cavacos de madeira proveniente de florestas plantadas, a qualidade do painel de madeira aglomerada é superior àquela dos países que utilizam maciçamente resíduos industriais, visto que as plantas brasileiras têm maior controle sobre o tamanho, espessura e características mecânicas das partículas de madeira (Roque, 1998).

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

Moslemi (1974) cita a produção de chapas, com o uso de partículas longas e finas, e o emprego de uma mesma quantidade de adesivo, afirmando que essas características levam a um menor valor de ligação interna, quando comparadas às chapas feitas com partículas curtas e espessas.

Segundo Kelly (1977), as chapas produzidas com resina, que é curada inadequadamente no miolo poderão apresentar delaminação após o relaxamento da pressão, uma vez que a pressão de vapor é maior que a resistência de ligação interna da chapa.

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

A pré-prensagem serve para reduzir uma parte de água e umidade e, desta forma, encurtar o tempo de prensagem definitiva e também para melhorar a qualidade da colagem (Samlaic, 1982).

Segundo Iwakiri (1989), o tempo mínimo de prensagem depende da eficiência de transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem e da distribuição da umidade no colchão de partículas.

Kelly (1977) comenta que o tempo de prensagem varia entre 4 e 8 minutos para temperaturas de prensagem entre 180 e 190⁰C, normalmente, calculado em sete ou oito segundos para cada milímetro de espessura final desejada.

Para a espécie *Pinus sp.*, verificou-se, baseando-se em testes mecânicos (MOR, MOE e LI), que 4 minutos foi o tempo total, em valores médios, para se atingir uma consolidação efetiva nos painéis de partículas grossas. Concluiu-se que o tempo de prensagem pode ser inferior ao usualmente empregado. Portanto, uma otimização do ciclo de prensagem poderia economizar tempo e energia, além de evitar uma não consolidação do painel por tempo insuficiente de prensagem (Albuquerque, 2002).

Outra consideração que se deve ter para melhorar a qualidade da chapa é o controle do ataque de insetos e fungos xilófagos, que apresentam como particularidade o efeito degradativo que experimenta frente à umidade, pois a água exerce uma ação de hidrólises sobre as colas que são utilizadas para recompor a madeira. Isto faz com que, em ambientes úmidos e com água líquida, as chapas fiquem deterioradas, até se tornarem em inutilizáveis (Vignote & Jiménez, 1996).

2.3 Partículas de madeira

Haselein *et al.* (2002) comenta que o termo partícula é definido no padrão ASTM como o componente agregado de uma chapa de partículas de madeira ou outro material

lignocelulósico, incluindo todas as menores subdivisões da madeira, fabricadas por meios mecânicos.

Segundo Iwakiri *et al.* (1999) (b), algumas das limitações da chapa de madeira aglomerada produzida no Brasil são a estabilidade dimensional e a resistência à flexão, sendo esta influenciada pelas pequenas dimensões das partículas utilizadas.

Conforme Koch (1964), a madeira saturada produz partículas de melhor qualidade que a madeira seca. Quanto mais seca estiver a madeira, maior será a formação de poeira ou partículas muito finas e maior será a aspereza das superfícies formadas, ocasionando um menor contato superficial no momento da colagem em razão do umedecimento incompleto.

Albuquerque (2002) comenta que, na obtenção das partículas para a produção de aglomerados, normalmente emprega-se picadores de partículas, e este procedimento promove de forma considerável a destruição na estrutura da madeira, como quebra de parênquima, fibras libriformes e traqueídeos. Desta forma, a resistência mecânica das partículas obtidas é consideravelmente mais baixa do que a da madeira que as originaram. Ou melhor, a estrutura final do painel representa uma unidade que possui vazios e rupturas, que reduzem a resistência mecânica em vez de um elemento maciço.

Segundo Peixoto & Brito (2000) e Haselein *et al.* (2002), partículas geradas por moinhos de martelos podem ser produzidas a partir de resíduos que vêm da industrialização da madeira.

2.3.1 Geometria das partículas.

Michaque (1993) comenta que a geometria da partícula é um dos fatores básicos determinantes das propriedades e características das chapas, juntamente com espécies de madeira, tipo e quantidade de resina, e outros aditivos.

A classificação das partículas tem como objetivo separar as partículas muito grandes (que voltam ao moinho) das muito pequenas, assim como separar as partículas finas do exterior das partículas grossas do interior.

Vignote & Jiménez, (1996) afirma que ao classificar as partículas, deve-se ter em consideração que partículas muito pequenas ampliam a área de superfície, e, assim, as exigências de resina aumentam. Partículas enormes podem adversamente afetar a qualidade do produto final por causa de falhas internas nas partículas.

Enquanto algumas partículas são classificadas por uso de correntes de ar, o método de classificação por peneiras é o mais comum (USDA, 1999).

Conforme Maloney (1989), as propriedades mecânicas, como resistência e rigidez à flexão, resistência à tração paralela e perpendicular à superfície (ligação interna), resistência ao arrancamento de parafusos e pregos, são afetadas pela geometria das partículas. Sobre isto, Koch (1964) afirma o mesmo, comentando também que há um efeito nas propriedades físicas das chapas de partículas, desenvolvendo-se máquinas para cortar flocos de dimensões mais controladas.

Segundo Kelly (1977), uma dimensão ideal de partículas para o melhor módulo de ruptura não necessariamente o seria para a estabilidade dimensional ou para a ligação interna.

Vital *et al.* (1992), estudando o efeito da geometria da partícula, constatou que não houve tratamento que melhorasse simultaneamente todas as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional das chapas. No entanto, observou que o uso de partículas curtas e espessas beneficia a resistência à tração perpendicular; porém, ocasiona a redução da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade. Essas duas propriedades são aprimoradas quando se aumenta o comprimento das partículas. Esse efeito é resultado de alterações na parte superficial e na flexibilidade das partículas, do consumo relativo de adesivo e da área de contato entre as partículas.

Segundo Iwakiri (1989), quando as dimensões de partículas são diferentes, a área superficial específica das partículas e a disponibilidade de resina por unidade de área sofrem alterações.

Moslemi (1974) estabelece que partículas finas, pequenas e flexíveis geram superfícies livres de vazios. A flexibilidade das partículas não somente tem influência direta no aspecto da superfície e das bordas, como também determina, em grande parte, o grau de contato partícula – partícula e, portanto, influencia as propriedades físico-mecânicas das chapas.

A chapa de partícula caracteriza-se por uma irregularidade no tamanho das partículas; assim, as mais exteriores são finas (0,2 mm de espessura) e as interiores, grossas (0,4 mm de espessura) (Vignote & Jiménez, 1996; Tomaselli, 1998).

Peixoto & Brito (2000) afirmam que um fator importante a ser observado é que, no Brasil, os estudos sobre a melhor granulométrica de partículas para a produção de chapas de pinus não têm recebido importância devida. Isso se deve, provavelmente, aos fatos de que as fábricas utilizam madeira de pinus em toras e não resíduos de madeira, e de as tecnologias empregadas serem importadas.

Os mesmos autores avaliaram a granulometria de partículas de madeira de *Pinus taeda*, em combinação com adesivos comerciais para a fabricação de chapas de madeira aglomerada, e comentam que, uma vez alterada a geometria ou a granulometria das partículas, há a necessidade também de verificar outras variáveis do processo de produção, tal como a proporção do adesivo a ser empregado.

Um dos problemas encontrado por Haselein *et al.* (2001), ao fabricar painéis aglomerados com diferentes dimensões de partículas de madeira, foi o controle do teor de umidade do colchão e, conseqüentemente, do teor de adesivo. O mesmo problema foi comprovado por Hillig (2000) durante a mistura dos componentes formadores do colchão no tambor rotativo. Observou-se que, aplicando-se quantidades iguais destes componentes aos colchões formados por flocos mais curtos e espessos, apresentou menor teor de umidade quando comparados aos colchões formados por flocos mais longos e finos.

Peixoto & Brito (2000), utilizando partículas de *Pinus taeda*, observaram que as chapas aglomeradas feitas com partículas de tamanhos menores tiveram uma força de ligação interna mais alta, enquanto que as de partículas maiores aumentaram as propriedades de flexão.

Albuquerque (2002) afirma que os painéis de partículas finas apresentam-se como uma opção interessante para o mercado, visto que não houve a necessidade de aumento do teor de resina, além de se comportarem de forma mais estável e homogênea que os painéis de partículas grossas.

Hillig (2000) observou que, na confecção de chapas aglomeradas estruturais, utilizando partículas de *Pinus elliottii* Engelm com várias dimensões nominais e densidade de $0,7 \text{ g/cm}^3$, e usando 8 % de adesivo, as propriedades de flexão estática (MOR e MOE) evoluíram com o aumento do comprimento e a diminuição da espessura das partículas. Já o inchamento em espessura e a resistência ao arrancamento de parafusos aumentaram com o aumento da espessura das partículas.

Brito & Silva (2002), em seu estudo sobre as propriedades de chapas de partículas produzidas com *Gmelina arborea* Linn. Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr., observou que as chapas produzidas com partículas maiores (5,61-0,61 mm) de *G. arborea* mostraram os melhores resultados de resistência à flexão estática, enquanto que aquelas produzidas com partículas menores proporcionam menor inchamento em espessura. As chapas produzidas a partir de madeira de *S. saman* e maior granulometria apresentaram melhor resistência à ligação interna.

2.3.2 Efeito da massa específica da madeira sobre as chapas de partículas

Segundo Kelly (1977), a densidade da madeira é o parâmetro mais importante para determinar a potencialidade de uma dada espécie para a fabricação de chapas de partículas. Em geral, as espécies de madeira empregadas nas indústrias de chapas aglomeradas apresentam uma densidade variando de 0,40 a 0,60 g/cm³. Para espécies com densidade fora deste intervalo é recomendada sua mistura, em proporções adequadas, com outras madeiras de modo a se obter a densidade final desejada.

A baixa massa específica da madeira é um dos principais requisitos para à adequabilidade de uma espécie à produção de aglomerados. A razão de compactação, que corresponde à relação entre a massa específica da chapa e a da madeira utilizada, define o grau de densificação do material, refletindo, depois, nas propriedades das chapas (Maloney, 1989).

Haselein *et. al.* (2001) observaram que existe uma boa relação entre a massa específica e o MOR e MOE. No entanto, outros fatores podem ser importantes na definição da resistência do painel, como por exemplo, a espécie de madeira usada na fabricação, a quantidade de resina e o tipo de recobrimento.

A densidade da madeira exerce influência no consumo de matéria-prima para a produção das chapas e igualmente no consumo de adesivo. Painéis de mesma densidade podem ser feitos com menor volume de madeira pesada do que de madeira leve, em função de permitirem menor compressibilidade.

Madeira de alta densidade produz menor área de partículas, que levaria a uma redução na quantidade de adesivo aplicada. Pode ocorrer também menor área de contato entre as partículas, devido ao menor número destas para um mesmo peso, o que leva à formação de chapas com baixa resistência mecânica. Assim, deve-se aumentar a densidade da chapa ou a quantidade de adesivo aplicada, fazendo com que a esperada economia de adesivo desapareça (Roque, 1998).

2.3.3 Efeito da umidade da madeira sobre as chapas de partículas

Segundo Hillig (2000), diversos fatores dificultam a manutenção de um controle eficaz da umidade, a qual influi diretamente nas propriedades de colagem e na própria densidade da chapa, visto que o peso de partículas é calculado com base na umidade desejada.

Segundo Moslemi (1974) um teor de umidade normalmente superior a 6 % ocasiona nas partículas maior flexibilidade, tornando-as mais facilmente compressíveis, o que demanda um menor tempo de prensagem. O conteúdo de umidade ideal depende de vários fatores, como a natureza do processo, o tipo e o dimensionamento das partículas, a densidade da madeira, entre outros.

As matérias-primas que chegam à planta industrial de produção de chapas normalmente não têm um conteúdo de umidade baixo, podendo variar entre 10 e 200 % de umidade.

Albuquerque *et al.* (2002) avaliaram a variação da umidade da madeira nos diversos estágios do processo industrial de painéis aglomerados até a entrada no secador de partículas, considerando toretes, cavacos e maravalha, e constataram que os cavacos das serrarias próprias das empresas apresentaram altos teores de umidade, enquanto que as maravalhas e os cavacos de terceiros, reduzidos teores de umidade.

Brand *et al.* (2002), estudando a variação de umidade entre o material seco e o verde, observaram que a umidade do resíduo com casca foi menor do que a do sem casca.

Albuquerque (2001), observou que, após a mistura das partículas secas com o adesivo, o teor de umidade dessas partículas eleva-se para uma faixa compreendida entre 8 e 14 %.

A pesquisa realizada por Brito (1995) demonstrou a viabilidade de utilização de partículas de madeira com 9% de teor de umidade na manufatura de chapas de aglomerados a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm.

Iwakiri *et al.* (1999) (a) em seu estudo, ressalta que é possível a produção de aglomerados usando-se partículas da espécie anteriormente citada com um teor de umidade de 12 %.

Hillig (2000) encontrou uma dificuldade ao controlar a homogeneidade da densidade ao longo da chapa. Esta variação foi devida a diversos fatores, como a distribuição manual das partículas para formação do colchão e uma possível diferença de densidade básica da matéria-prima entre partículas de mesma madeira, entre outros.

2.3.4 Efeito das características anatômicas da espécie de madeira sobre as chapas de partículas

Para Marchiori (1992) os caracteres anatômicos correspondem a um conjunto de detalhes estruturais revelados pela microscopia óptica, na qual devem ser analisados separadamente para o grupo das gimnospermas e angiospermas.

Burguer & Ritcher (1991) comentaram que a abundância, a dimensão e a distribuição dos vasos presentes em determinada madeira têm influência sobre as suas propriedades de resistência mecânica e permeabilidade.

Segundo Haselein & Pauleski (2003), a estrutura da madeira é um fator que afeta a adesão e a cura dos adesivos. As folhosas geralmente são mais ásperas devido aos poros de maior diâmetro, e as coníferas normalmente produzem superfícies mais lisas devido ao menor diâmetro das fibras. Por esses motivos, folhosas geralmente requerem aplicação de maior quantidade de adesivo.

2.4 Parâmetros técnicos de produção

2.4.1 Características da espécie

A madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* alcança alturas de 20 a 40 m e DAP de 60 a 90 cm. O fuste é esbelto e geralmente reto. A casca da árvore madura pode alcançar de 2 a 4 cm de espessura. A madeira é muito resinosa, além de apresentar densidade e dureza maiores que as outras espécies de *Pinus*. A durabilidade não é alta, mas a madeira pode ser impregnada com facilidade (Lamprecht, 1990).

Garcia *et al.*(1996) comenta que o peso específico normal da madeira de pinus oscila entre 0,4 e 0,5 g/cm³ na maioria das espécies. A durabilidade de madeira de pinus pode ser considerada de média a baixa. Os pregos e parafusos são colocados sem dificuldade, e somente a presença de resina pode dificultar um colado correto em algumas espécies.

2.4.2 Material utilizado

Iwakiri *et al.* (1999) (a), observaram que, na produção de chapas de aglomerados de *Pinus elliottii*, ao se incluir um reforço laminar nessas chapas suas propriedades podem melhorar substancialmente possibilitando a sua utilização em situações que requeiram maior resistência e estabilidade dimensional.

Iwakiri *et al.* (2001), com base no seu trabalho de pesquisa, sugere utilizar uma combinação de espécies de pinus tropicais para a produção de chapas de madeira aglomerada, já que a mistura de espécies na composição das chapas indica a adequabilidade técnica quanto à utilização das 5 espécies combinadas, ampliando a possibilidade de diversificação de espécies de pinus para plantios e usos industriais. As propriedades mecânicas de todas as espécies estudadas foram superiores aos valores mínimos recomendados pela norma CS 236-66.

Brito (1995) observou no seu trabalho que o MOR, o MOE e a ligação interna apresentaram bons resultados, usando-se partículas homogêneas de maravalhas de *Pinus sp.*

Utilizando mistura de espécies, Hillig (2000) observou que, na ligação interna, obtêm-se resultados satisfatórios para chapas feitas de mistura de partículas com alta proporção de pinus.

Da mesma forma, a avaliação dos resultados das propriedades físicas demonstrou que, com o aumento da proporção de bracinga na mistura de pinus e bracinga, as chapas alcançaram maior estabilidade dimensional. Na avaliação global das propriedades físicas e mecânicas, pode-se afirmar que a proporção mais adequada para a mistura das duas espécies é 50 % de partículas de pinus e 50 % de bracinga (Iwakiri *et al.*, 1995).

Iwakiri *et al.* (1996), em seu estudo sobre produção de aglomerados com mistura de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*, demonstrou que com o aumento na razão de compactação, devido à maior proporção de pinus no painel, aumentam os valores médios de absorção de água e de inchamento em espessura. Por outro lado, essa mistura não influenciou significativamente na resistência à flexão estática.

Quanto ao uso de cerne no material, Moslemi (1974) afirmou que o mesmo e o alburno não se comportam da mesma maneira em relação ao adesivo. Em geral, o cerne apresenta características mais indesejáveis na produção de painéis, não por apresentar qualidades negativas, mas por não permitir um controle rígido das condições de produção da

chapa devido a suas características químicas. Por outro lado, cita que o alburno tende a absorver e reter maior quantidade de adesivo em sua superfície.

Em um estudo feito por Singh *et al.* (1995) sobre o uso de madeira de *Populus deltoides* com e sem casca na produção de aglomerados, usando-se 10 % de resina fenol-formaldeído e 1 % de emulsão de parafina, foi verificado que todas as chapas produzidas apresentaram propriedades de acordo com os padrões internacionais. No entanto, as chapas de madeira com casca (cerca de 19 % de proporção) apresentaram propriedades levemente inferiores às produzidas com matéria-prima sem casca.

2.4.3 Quantidade de resina

Baseado no peso seco de resina sólida e no peso seco das partículas, o conteúdo de resina pode variar entre 4 e 10%, sendo normalmente entre 6 e 9% para resinas de UF. Além da resina, a parafina em forma de emulsão é somada para melhorar a resistência à umidade em curto prazo. A quantidade de parafina varia de 0.3 a 1%, baseada no peso seco das partículas (USDA, 1999).

Quanto ao efeito na aplicação de resina nas partículas, pode-se observar o resultado obtido por Albuquerque (2002), usando-se partículas grossas de pinus nos quais os valores de MOR e MOE foram superiores na condição de 12 % no teor de resina. Estes resultados se explicam pela consolidação mais efetiva devido a maior quantidade de resina disponível nas superfícies das partículas. Apesar de os resultados em ligação interna não terem sido favoráveis, as camadas externas parecem ter atingido consolidações mais efetivas, acarretando níveis superiores em flexão estática. Também, com o aumento de 8 para 12 % de resina, houve uma inferior absorção de água, assim como valores inferiores de inchamento. Isto indica que não pode estar ocorrendo uma total saturação do material lenhoso, o que evidenciaria o efeito da resina em dificultar o contato da água com as partículas, retardando e reduzindo os índices de inchamento em espessura.

Usando-se partículas mais finas da mesma espécie, o aumento no teor de resina de 8 para 12 % ocasionou uma redução nos valores de flexão estática, tanto em MOR quanto em MOE, já que esses painéis não atingiram a devida consolidação pelo curto período de prensagem. Porém, proporcionou um aumento nos valores de ligação interna, revelando uma consolidação mais efetiva no miolo do painel e uma redução na absorção de água nos painéis

que receberam 12 % de resina e também uma redução do inchamento com o aumento do teor de resina.

Keinert & Matos (1987), ao produzirem chapas de partículas do gênero *Pinus* empregando quatro níveis de adesivo, correspondentes a 2 e 8 %, verificaram que os produtos elaborados com 8 % de adesivo apresentaram propriedades de flexão elevadas.

Brito (1984), produzindo chapas de *waferboard* com quatro espécies do gênero *Pinus*, verificou uma melhoria nas propriedades mecânicas e no inchamento em espessura quando elevou a quantidade de adesivo aplicado de 4 para 8 %.

Maciel (2001) observou, quanto ao MOR, MOE, LI e arrancamento de parafusos, que chapas produzidas com 6% de adesivo apresentaram valores médios de resistência numericamente superiores aos das chapas com 4% de adesivo.

2.4.4 Densidade da chapa

A densidade da chapa está intimamente associada à densidade das madeiras empregadas na sua fabricação e à taxa de compressão necessária para a sua compactação. Esta é a variável que mais afeta as propriedades de resistência dos produtos formados (Hillig, 2000).

Moslemi (1974) observou que painéis produzidos com espécies de baixa densidade geralmente apresentaram maior resistência à flexão e à tração, melhor módulo de elasticidade e melhor ligação interna do que painéis obtidos de espécies de alta densidade, para chapas de igual densidade.

Segundo Roque (1998) em geral, a densidade da madeira empregada na produção de chapas situa-se entre 0,4 e 0,6 g/cm³, e a densidade das chapas produzidas varia de 5 a 40 % a mais do que a madeira usada na sua confecção.

Vignote & Jiménez (1996) comentam que, na parte externa, a densidade da chapa pode chegar a 1,2 g/cm³, e, na parte interna, pode ser de 0,5 g/cm³. Toda essa heterogeneidade faz com que a chapa não admita perfis e acabamentos diretos de qualidade.

A taxa de compressão é a razão entre a densidade da chapa e a densidade da madeira. Em painéis comerciais, seu valor é sempre maior que um, pois, durante a prensagem, torna-se necessário comprimir as partículas de forma a produzir boa união com o mínimo de adesivo e

também reduzir os espaços interiores e as irregularidades da superfície do painel (Vital *et al.*, 1992).

Quanto ao efeito da densidade na resistência do painel, podem ser observados alguns resultados:

O estudo feito por Garay *et al.* (2001), para fabricar chapas aglomeradas de teca e gmelina com densidade de $0,650 \text{ g/cm}^3$, demonstraram que a densidade real obtida das chapas foi maior que a densidade teórica estabelecida, devido ao conteúdo de umidade nominal ter sido menor que o conteúdo de umidade médio experimental. Essa diferença em densidade deve-se à contribuição da água que foi agregada à cola de uréia formaldeído para obter a viscosidade apropriada na operação de aspersão das partículas.

Hillig (2000) constatou que a densidade básica da chapa, condicionada ao teor de umidade, foi a variável que apresentou maior influência sobre o MOR e o MOE.

Segundo Kelly (1977), o aumento da densidade do painel, assim como o melhor alinhamento das partículas nas camadas superficiais e do teor de resina mais elevado, normalmente elevam os valores obtidos de MOE e MOR.

Segundo Haselein (1989), um aumento na densidade do painel torna a resistência em flexão maior.

Os resultados obtidos em valores de MOR e MOE evidenciam uma variação crescente com o aumento da densidade, decorrente do aumento da razão de compactação (Albuquerque, 2002).

Hillig (2000) observou no seu trabalho que os valores de ligação interna elevaram-se com o aumento da densidade básica do painel.

Vital & Wilson (1980) afirmam que o efeito da densidade da chapa no inchamento em espessura deve-se mais à umidade relativa de exposição. Em condições de baixa umidade relativa, o inchamento em espessura independe da densidade, enquanto em exposição a altas umidades relativas é acrescentado com o aumento da densidade.

Usando-se partículas grossas, em painéis menos densos, ocorreu uma maior absorção de água, e, em painéis mais densos, um maior inchamento em espessura (Albuquerque, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

Para a realização deste trabalho, foram empregados resíduos de madeira provenientes da empresa Todesmade, situada no município de Cachoeira do Sul (RS).

A matéria-prima fornecida pela empresa era constituída de resíduos de processamento mecânico de *Pinus elliottii* Engelm., obtidos por ocasião do desdobro na serraria e do beneficiamento na marcenaria da mesma.

Os resíduos de processamento da serraria, constituídos de costaneiras, serragem, casca, destopos e refilos, foram reduzidos a cavacos pela própria empresa. Já as maravalhas, resultantes do beneficiamento, não foram reprocessadas.

Todo o material coletado (cavacos e maravalhas) foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente identificados, e, em seguida, conduzido ao Laboratório de Produtos Florestais da UFSM para a manufatura dos painéis.

3.2 Preparação das matérias-primas

3.2.1 Processamento dos resíduos

No momento da coleta, o resíduo estava constituído por cavacos, serragem e casca, numa proporção de 55,6, 22,7 e 21,7%, respectivamente. O tamanho dos cavacos oscilava entre 30 x 9 x 7 mm e 90 x 30 x 17 mm, e o da casca entre 50 x 26 x 8 mm e 61 x 22 x 11 mm.

Esses materiais foram reduzidos a partículas com o uso de um moinho de martelos, obtendo-se dimensões de casca entre 8 x 5 x 1,25 e 15 x 3 x 2 mm e de cavacos entre 17 x 2 x 1,5 e 34 x 6 x 4 mm.

Já as maravalhas foram mais homogêneas e não precisaram de nenhum reprocessamento, obtendo-se dimensões entre 6 x 7 x 0,4 e 21 x 13 x 0,7 mm .

A Figura 1 mostra, em detalhe, os resíduos de serraria na forma original, antes de passar pelo moinho de martelo. Já na Figura 2, pode-se visualizar a qualidade, em geral, das partículas obtidas de resíduos de serraria e maravalha.

Os cavacos convertidos em partículas e as maravalhas foram colocados em estufa com ventilação forçada, a 60°C, até atingir um teor de umidade de aproximadamente 3%.

Foram pesadas amostras dos resíduos, a fim de se obter o peso úmido, sendo colocadas em estufa a 103°C até o peso constante, para se obter o peso seco e, assim, determinar o teor de umidade.



FIGURA 1. Detalhe da amostra de resíduos de serraria na forma original

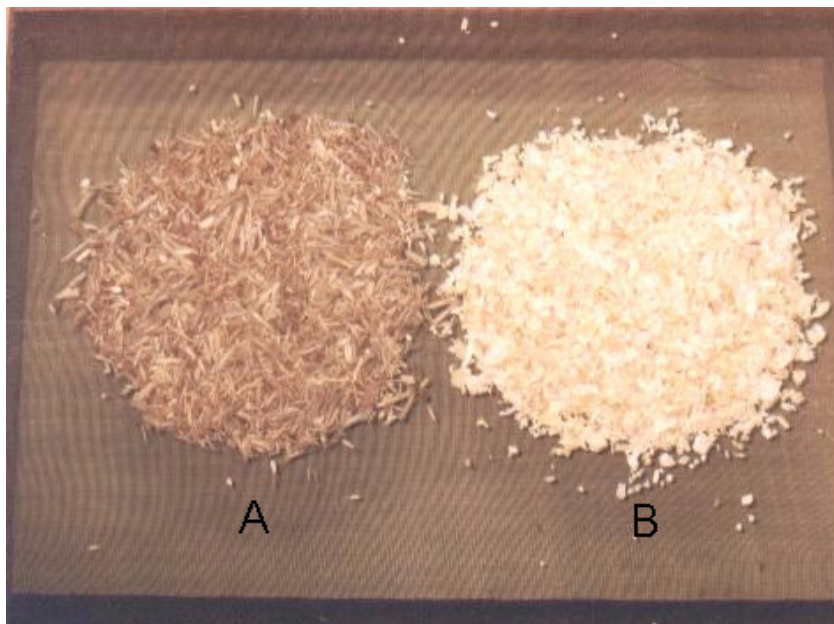


FIGURA 2. Visualização das partículas obtidas para cada tipo de resíduo estudado (A= serragem; B= maravalha)

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

3.2.2 Determinação do teor de sólidos do adesivo e aditivo

Para determinar o teor de sólidos da resina uréia formaldeído e da parafina, aplicou-se o procedimento da norma ASTM D 1490-96 (1999).

Para iniciar o processo, foram necessárias:

- a) Pesar, em balança analítica, cada placa de Petri (3 amostras) coberta com papel de alumínio e colocada anteriormente a secar em estufa pelo período de 1 hora e a esfriar em dessecador. Posterior a isso, as placas foram numeradas.
- b) Colocar uma porção de solução da resina correspondente a 1 g de uréia, em cada placa.
- c) Colocar 5 ml de água contidos numa pipeta, em cada placa contendo a resina, para diluir a mesma.

d) Deixar secar em estufa a 103⁰C, por 3 horas, e pesar novamente.

Para calcular a percentagem do teor de sólidos, foi aplicada a seguinte fórmula:

$$\% \text{ TS} = (A / B) \times 100$$

Onde: A = peso do resíduo seco ($P_{\text{resíduo}} - P_{\text{prato}}$); B= peso do material original.

O mesmo procedimento foi aplicado para determinar o teor de sólidos da parafina.

Quanto aos valores de teor de sólidos, para a resina de uréia-formaldeído, foi de 63%, e, para a parafina, 55%, aproximando-se ambos dos valores normalmente requeridos para serem usados nas indústrias de chapas de madeira aglomerada.

3.3 Fabricação das chapas

3.3.1 Planilha de cálculos

Com a finalidade de calcular a quantidade dos produtos a serem utilizados nas chapas, elaborou-se uma planilha de cálculos, apresentada na Figura 20 no anexo.1.

Nesta planilha, foram inseridas as variáveis de estudo para cada tratamento, sendo elas a proporção de material utilizado (0, 50 e 100 %), a densidade da chapa (0,6 e 0,7 g/cm³) e o teor de adesivo (4, 8 e 12 %). Também foram inseridos outros fatores do processo produtivo, que foram fixos para os tratamentos. Baseando-se nesses dados, foram calculadas as quantidades dos materiais utilizados para cada tratamento (partícula, uréia-formaldeído, parafina, sulfato de amônia e água).

Com o objetivo de controlar a densidade da chapa no momento da mistura, foram utilizadas quantidades de materiais maiores que as calculadas (peso corrigido com margem) na seguinte proporção: partícula-20%; adesivo, catalisador, aditivo e água-30%.

3.3.2 Processo de produção

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

Antes de iniciar a manufatura das chapas, as partículas armazenadas foram novamente colocadas na estufa, a 60°C, por 24 horas, alcançando a umidade de equilíbrio, de aproximadamente 3 %.

As partículas foram retiradas da estufa no momento da sua utilização e levadas de imediato ao tambor rotativo (Figura 4), onde foi aplicado o adesivo através da pistola acionada por ar comprimido, com pressão de 8 kgf/cm² e vazão de 50 gramas de adesivo por minuto. Foi aplicado primeiro o adesivo misturado com água e o catalisador e, depois, a parafina, juntamente com a água necessária para ajustar a umidade do colchão, se necessário. Logo após, foi adicionada uma pequena quantidade de água para eliminar os produtos que ficaram aderidos na mangueira da pistola.

A quantidade de material (partículas, adesivo, parafina, catalisador e água) extraída do tambor rotativo foi usada para obter o peso final do colchão úmido.



FIGURA 3 - Tambor rotativo

Para o cálculo do teor de umidade do colchão, foram retiradas amostras das partículas que sobraram no tambor e o resto foi eliminado.

Após a determinação do TU de cada chapa, as que apresentavam valor inferior a 9,5% ou superior a 12,5 %, foram descartadas, e o processo repetido.

O colchão foi formado manualmente numa caixa de madeira com fundo falso e sem tampa, com dimensões de 50 x 50 x 20 cm, que foi colocado sobre uma chapa de aço galvanizado com 1,0 mm de espessura e revestido com papel vegetal (Figura 5), para evitar aderência do material com os pratos da prensa.



FIGURA 4. - Formação do colchão de partículas

Após a distribuição homogênea das partículas, o colchão foi pré-prensado à temperatura ambiente durante, aproximadamente, 30 segundos (Figura 6). Depois, foi colocada sobre o colchão outra chapa de aço galvanizada, também revestida com papel vegetal.

A prensagem à quente foi realizada em prensa de laboratório marca OMECO, acionada por um pistão hidráulico com capacidade de 100 toneladas de aplicação de carga, e

pratos com dimensões de 60 x 60 cm (Figura 7). A pressão específica aplicada foi de 30 kgf/cm², e a temperatura dos pratos foi ajustada em 180°C. O tempo de fechamento da prensa foi de 40 segundos, e o tempo total de prensagem, aplicado para promover a evaporação da água e a cura do adesivo, foi de 8 minutos.

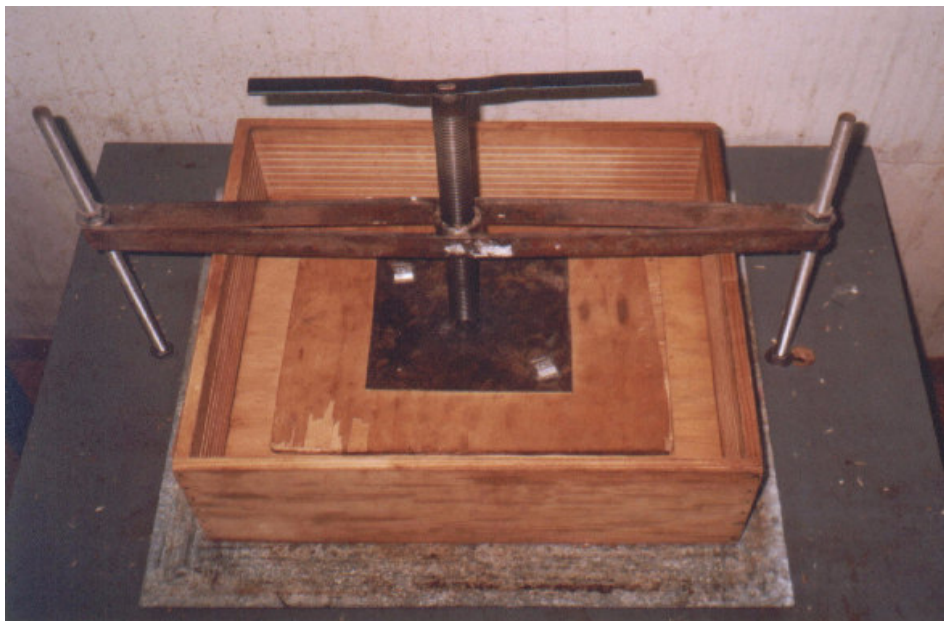


FIGURA 5. Prensa manual



FIGURA 6. Prensa hidráulica

Para manter a espessura determinada das chapas, foram utilizadas duas barras de aço com altura igual a 9,5 mm, colocadas nas bordas laterais do colchão, limitando, assim, o fechamento da prensa.

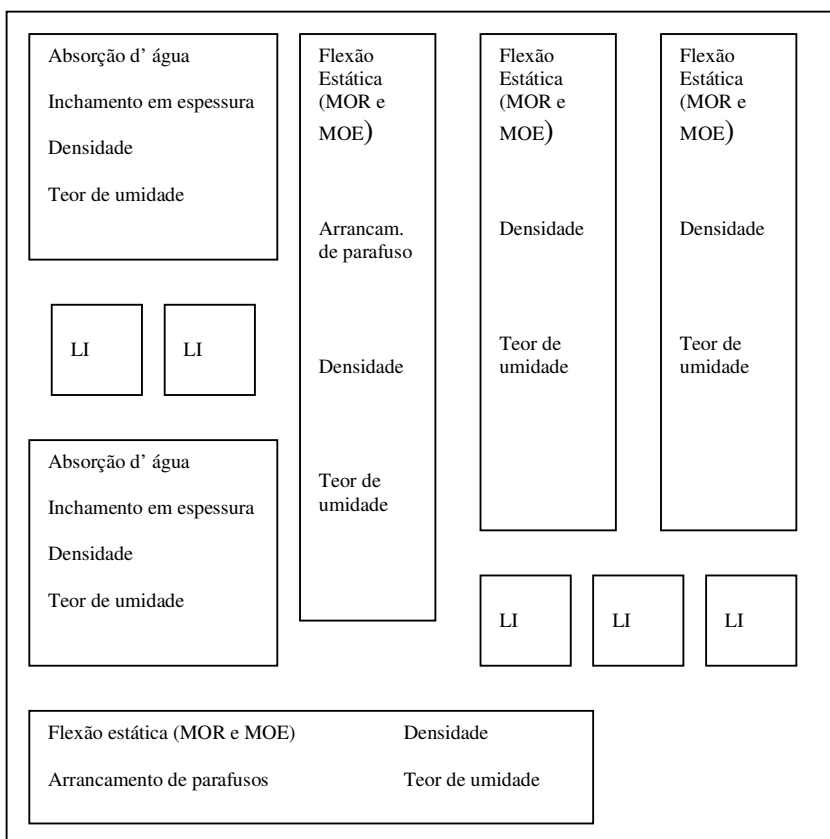
Depois da prensagem, as chapas foram identificadas, esquadrejadas e conduzidas à câmara climática para serem condicionadas à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%.

Após a climatização, foram confeccionados os corpos de prova na marcenaria da UFSM, com o uso de serra circular de 30 cm de diâmetro e 24 dentes, tipo videira, proporcionado assim um bom acabamento do material. Posterior a isso, os corpos de prova foram lixados, em lixadeira manual, e armazenados novamente na câmara climática, à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, até atingir peso constante para a realização dos testes. O modelo de corte utilizado para confeccionar os corpos de prova pode ser observado na Figura 8.

3.4 Testes físico –mecânicos

Foram avaliadas, pela norma norte-americana D-1037-93 (ASTM, 1995), as seguintes propriedades das chapas: propriedades físicas quanto à absorção de água e inchamento em espessura, e propriedades mecânicas quanto à flexão (Módulo de Ruptura e Módulo de elasticidade), arrancamento de parafusos e ligação interna.

Os ensaios mecânicos foram realizados em Máquina Universal de Ensaio, hidráulica, marca Amsler, com uma capacidade de 20 toneladas, pertencente ao Laboratório de Produtos Florestais da UFSM (Figura 9). Os pares de dados de carga e deformação foram alimentados automaticamente a uma placa de aquisição de dados, inserida em um computador IBM PC.



Escala 1: 4

FIGURA 7. Modelo de corte das chapas para a confecção dos corpos de prova



FIGURA 8. Máquina de ensaios mecânicos

3.4.1 Absorção d'água e inchamento em espessura

Nestes ensaios, foram utilizados corpos de prova de 15 x 15 cm, lixados e submersos em água a temperatura de 20 °C. O material foi colocado de forma horizontal e mantido submerso a uma profundidade de 25 mm, por meio de pesos em forma de grade.

Foram determinados a espessura média e o peso das peças condicionadas na câmara climática após 2 e 24 horas de submersão na água.

Para medição da espessura, foi utilizado um relógio comparador, adaptado especialmente para tal finalidade. As medidas de comprimento e largura foram realizadas com paquímetro, e o peso foi determinado com balança analítica eletrônica.

Após as medições, os corpos de prova foram levados à estufa a 103°C, para a determinação do teor de umidade base seca, no momento de cada medição. Assim, foram

determinados os teores de umidade dos corpos de prova à umidade de equilíbrio (TUe), após duas horas (TU 2) e 24 horas (TU 24) de imersão em água.

As variáveis obtidas neste teste foram inchamento em espessura após 2 (IE 2) e 24 horas (IE 24), e absorção de água em peso, às 2 (Ab 24) e 24 horas (Ab 24).

Os cálculos destas variáveis, as quais podem ser vistas nas equações 1 e 2, foram realizados segundo a norma D 1037-93 (ASTM, 1995).

$$IE(\%) = \frac{\text{Espessura média final} - \text{Espessura média inicial}}{\text{Espessura média inicial}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$Ab(\%) = \frac{\text{Peso médio final} - \text{Peso médio inicial}}{\text{Peso médio inicial}} \cdot 100 \quad (2)$$

3.4.2 Flexão estática

Os testes de flexão estática foram conduzidos em corpos de prova de 30 e 35 cm de comprimento e 7,5 cm de largura. O vão entre os apoios foi de 24 vezes superior à espessura média dos corpos de prova (22,8 cm). A velocidade de aplicação da carga de acordo com a equação indicada pela norma foi regulada em 5 mm/minuto.

Para determinar o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, foi utilizado um software, desenvolvido para o teste de flexão, possibilitando a construção do gráfico carga x deformação. Para os cálculos do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade, (MOE) foram utilizadas as seguintes equações:

$$MOR = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (3)$$

$$MOE = \frac{b \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3} \quad (4)$$

Onde: P= carga máxima aplicada (kgf); b_1 = coeficiente de inclinação da parte reta da curva carga x deformação (kgf/cm); L= vão entre os pontos de reação (cm); b= largura do corpo de prova (cm); h= espessura do corpo de prova (cm).

Após a realização destes testes, foi determinado o teor de umidade (Tue), obtido por meio da pesagem do corpo de prova e secagem em estufa a 103⁰ C.

3.4.3 Arrancamento de parafusos

Para realizar este teste fez-se uso de corpos de prova de 15 x 7,5 cm, aproveitando as extremidades dos corpos de prova utilizados no teste de flexão. Os parafusos com diâmetro de 3 mm, foram introduzidos no centro do corpo de prova, em ângulo reto à superfície da chapa, de forma que atravessasse em 8 mm a superfície inferior da mesma. A velocidade do teste foi de 1,5 mm/minuto, registrando-se a carga máxima aplicada para o arrancamento do parafuso em kgf.

3.4.4 Tração perpendicular à superfície da chapa

Para realizar este teste, foram utilizados corpos de prova de 5 x 5 cm, com as faces coladas em blocos de aço. Foram medidas as dimensões da área de esforço e, no momento da ruptura, registrou-se a carga máxima. A velocidade do teste, de acordo com a espessura dos corpos de prova, foi ajustada em 0,76 mm/min.

Foram, assim, calculados os valores de ligação interna (LI), relacionando a carga máxima e a área de esforço, expressado como kgf/cm².

3.5 Modelo experimental e análise dos resultados

O modelo experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, segundo um modelo trifatorial (3x3x2), no qual os tratamentos avaliados

mostram as combinações empregadas para a confecção das chapas de partículas de serragem e maravalha, com o adesivo e a densidade na Tabela 1.

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

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

Onde: serragem= denominação atribuída à mistura dos resíduos cavaco, serragem e casca.

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

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

O delineamento trifatorial foi processado em pacote estatístico, adotando-se níveis de significância de 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas das chapas

4.1.1 Densidade

As densidades das chapas variaram entre 0,54 e 0,66 g/cm³, sendo um pouco inferiores aos valores nominais.

Foram encontrados, assim como Hillig (2000), diferentes valores de densidade entre os corpos de prova de cada chapa, significando a existência de variações dentro da mesma. Esta pequena variação pode ser considerada normal, sendo atribuída às condições de manufatura em laboratório, devido a uma falta de homogeneidade na distribuição manual para a formação do colchão, ou a uma diferença de densidade entre partículas de mesma madeira, considerando-se que foram utilizados dois tipos de resíduos, e a mistura de ambos, dentre outros fatores.

Para a densidade nominal de 0,6 g/cm³ foram obtidos valores de densidade das chapas entre 0,54 e 0,59 g/cm³. Enquanto que, para a densidade nominal de 0,7 g/cm³, foram obtidos valores entre 0,60 e 0,66 g/cm³.

Os valores médios das densidades nominais e observadas na produção das chapas aglomeradas são mostrados na Tabela 2.

TABELA 2. Valores médios de densidade nominal e observada, teor de umidade de equilíbrio e teor de umidade do colchão encontradas para os diferentes tratamentos

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tuc (%)	Tue (%)
1	100	0	4	0,60	0,54	10,94	9,29
2	100	0	8	0,60	0,58	11,19	9,03
3	100	0	12	0,60	0,56	11,33	9,22
4	100	0	4	0,70	0,65	12,17	9,23
5	100	0	8	0,70	0,60	11,27	9,26
6	100	0	12	0,70	0,60	11,61	8,75
7	0	100	4	0,60	0,57	10,89	8,59
8	0	100	8	0,60	0,57	11,44	8,64
9	0	100	12	0,60	0,59	10,98	8,35
10	0	100	4	0,70	0,65	10,25	8,33
11	0	100	8	0,70	0,65	10,88	8,46
12	0	100	12	0,70	0,66	11,64	8,36
13	50	50	4	0,60	0,56	10,72	9,02
14	50	50	8	0,60	0,57	11,14	8,95
15	50	50	12	0,60	0,59	11,29	8,79
16	50	50	4	0,70	0,64	11,07	8,85
17	50	50	8	0,70	0,66	12,23	8,79
18	50	50	12	0,70	0,64	11,71	8,34

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm³); Do= densidade observada (g/cm³); Tue= teor de umidade de equilíbrio(%); Tuc= teor de umidade do colchão (%).

A variação ocorrida entre a densidade nominal e calculada para cada corpo de prova pode ser observada na Figura10.

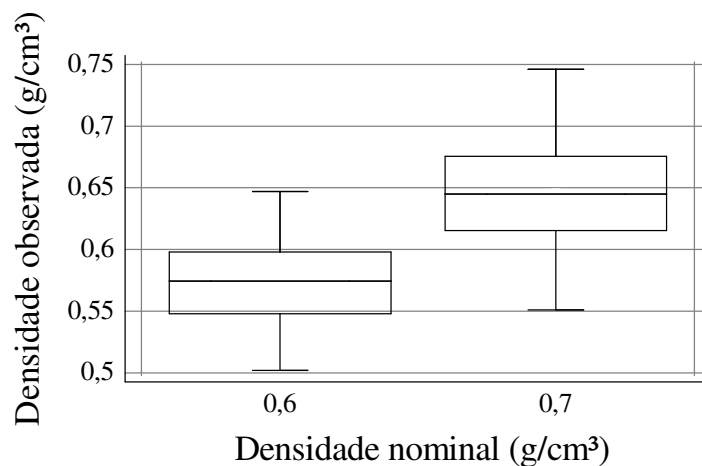


FIGURA 9. Amplitude dos valores de densidade observada para os corpos de prova (Do) para cada densidade nominal (Dn)

4.1.2 Teor de umidade do colchão

Alguns dos fatores que influenciaram no teor de umidade do colchão foram a quantidade do produto aplicado (uréia-formaldeído, parafina e água) que é perdido por ficar aderido aos instrumentos (pistola, mangueira e tambor do misturador); a quantidade de partículas finas presentes ou geradas durante o processo de mistura, as quais consomem boa parte dos produtos citados; a umidade das partículas, que sofrem uma rápida influência da umidade relativa do ambiente, mesmo secas em estufa, antes de iniciar a elaboração das chapas.

A umidade nominal do colchão foi estabelecida em 11 %, sendo obtidas umidades médias entre 10,25 e 12,23%.

O teor de umidade do colchão de cada tratamento pode ser observado na Tabela 2.

4.1.3 Teor de umidade de equilíbrio

O teor de umidade de equilíbrio das chapas estabelecido nos cálculos foi de 8,5 %, sendo obtidos os valores médios entre 8,33 e 9,29 %.

O Tue das chapas fabricadas com serragem e teor de adesivo de 4 e 8 % foi maior que o Tue das outras chapas, que pode ser observado na Tabela 2.

O modelo de regressão linear ajustado inclui o material serragem e o teor de adesivo, com um valor de P menor que 0,01, relacionando de forma significativa essas variáveis a um nível de confiança de 99%.

Este modelo explica que a medida que aumenta a proporção de serragem, e diminui o teor de adesivo, o teor de umidade de equilíbrio aumenta. Isto é observado na seguinte equação:

$$\text{Tue} = 8,70139 + 0,00676111 \text{ serr} - 0,0309028 \text{ ta}$$

Onde: $R^2 \text{ aj.} = 52,8221$; $S_{yx} = 0,27575$; $F = 30,67$

4.1.4 Teor de umidade das partículas

Com relação à umidade das partículas, realizou-se a medição do teor de umidade, após a secagem em estufa, encontrando-se valores médios entre 3 e 3,5 %, respectivamente.

4.2 Propriedades mecânicas das chapas, relacionadas com as variáveis de fabricação.

4.2.1 Resistência à flexão estática (MOR e MOE)

A resistência à flexão estática representa a tensão máxima desenvolvida na superfície de uma barra sujeita ao dobramento. O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade

(MOE) são os dois parâmetros normalmente determinados nos ensaios em flexão estática. Tais valores são importantes, por oferecerem uma aproximação de resistência do material, servindo de comparação com os produtos comerciais similares encontrados no mercado.

A norma de comercialização ANSI A 208.1 das chapas de partículas de baixa e média densidade (menor que 0,59 e entre 0,59 e 0,8 g/cm³, respectivamente) admite como valores mínimos requeridos 56 e 112 Kgf/cm² de MOR e 10561 e 17602 kgf/cm² para MOE.

Os valores médios dos ensaios em flexão para MOR e MOE, determinados nas chapas, são apresentados na Tabela 3, em função da percentagem de material utilizado, teor de adesivo e densidade. Pode-se observar que os valores de MOR oscilam entre 51,63 e 99,16 kgf/cm², e os valores de MOE, entre 5330 e 12071 kgf/cm².

TABELA 3. Valores médios de MOR e MOE, encontrados para os diferentes tratamentos

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tuc (%)	Tue (%)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
1	100	0	4	0,60	0,54	10,94	9,29	51,63	5330
2	100	0	8	0,60	0,58	11,19	9,03	65,65	6636
3	100	0	12	0,60	0,56	11,33	9,22	78,28	5999
4	100	0	4	0,70	0,65	12,17	9,23	86,78	6247
5	100	0	8	0,70	0,60	11,27	9,26	83,26	6690
6	100	0	12	0,70	0,60	11,61	8,75	89,68	6284
7	0	100	4	0,60	0,57	10,89	8,59	87,62	7665
8	0	100	8	0,60	0,57	11,44	8,64	91,99	10711
9	0	100	12	0,60	0,59	10,98	8,35	70,13	10786
10	0	100	4	0,70	0,65	10,25	8,33	62,88	10428
11	0	100	8	0,70	0,65	10,88	8,46	96,11	11826
12	0	100	12	0,70	0,66	11,64	8,36	75,06	12071
13	50	50	4	0,60	0,56	10,72	9,02	71,62	5888
14	50	50	8	0,60	0,57	11,14	8,95	81,87	7147
15	50	50	12	0,60	0,59	11,29	8,79	95,17	10728
16	50	50	4	0,70	0,64	11,07	8,85	65,43	8528
17	50	50	8	0,70	0,66	12,23	8,79	76,52	7709
18	50	50	12	0,70	0,64	11,71	8,34	99,16	11797

Onde: T_a = teor de adesivo (%); D_n = densidade nominal (g/cm^3); D_o = densidade observada (g/cm^3); T_{ue} = teor de umidade de equilíbrio (%); T_{uc} = teor de umidade do colchão (%); MOR= módulo de ruptura (kgf/cm^2); MOE= módulo de elasticidade (kgf/cm^2).

Nos ensaios efetuados para MOR nas chapas produzidas com densidade nominal de $0,6 \text{ g/cm}^3$, pode ser observado que, com exceção do tratamento 1, todas os outros superaram o valor mínimo determinado, e, nos tratamentos com densidade nominal de $0,7 \text{ g/cm}^3$, nenhum deles conseguiu atingir os valores mínimos.

Para o MOE, só os tratamentos 8, 9 e 15 com densidade nominal de $0,6 \text{ g/cm}^3$, incluindo o uso de maravalha ou de mistura, superaram o valor mínimo requerido. Isto pode ser explicado porque o material de serragem utilizado para a fabricação das chapas tem uma proporção de casca que influi na diminuição da resistência da superfície das chapas. O mesmo foi observado por Fagundes (2003), o qual comenta que esse material é considerado como um resíduo de pouca aceitação no mercado.

Singh *et al.* (1995) também constaram que, usando matéria-prima com casca de *Populus deltoides* na fabricação de chapas, as propriedades apresentadas foram bem inferiores comparadas à matéria-prima sem casca.

Outro fator constatado neste estudo similar ao encontrado por Albuquerque (2002), é o de que os resíduos de serragem que passam pelo picador de partículas apresentam a estrutura final da chapa com vazios e rupturas, o que pode explicar a diminuição na resistência mecânica das chapas feitas com esse material.

A propriedade que melhor se relacionou com o MOR e o MOE foi a densidade da chapa ao teor de umidade de equilíbrio (D_c), seguido do teor de adesivo, também observado por Kelly (1977) e Hillig (2000).

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

O valor de MOR e MOE é elevado com o aumento da densidade da chapa e do teor de adesivo, bem como com a diminuição da proporção de serragem. Por isso, quando foram usadas maravalhas e, em segundo lugar, a mistura de serragem-maravalha, à medida que aumentavam a densidade e o teor de adesivo o MOR e o MOE aumentavam também.

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

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

A correlação entre as propriedades de flexão estática das chapas definidas pelo MOR e o MOE e as variáveis independentes analisadas

(proporção de serragem, teor de adesivos, densidade observada) pode ser vista na Tabela 4.

TABELA 4. Correlação de Pearson entre as propriedades de flexão estática e as variáveis de fabricação das chapas

	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Proporção de serragem (%)	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm ³)
MOR (kgf/cm ²)	1				
MOE (kgf/cm ²)	0,56758(**)	1			
Proporção de serragem (%)	-0,41453(**)	-0,55529(**)			
Teor de adesivo (%)	0,19883(*)	0,30909(**)	0	1	
Densidade obs. (g/cm ³).	0,27988(**)	0,44899(**)	-0,14379 ns	0,12942 ns	1

*significância da correlação a 5 %; ** significância da correlação 1 %; ns- correlação não significativa

Observando a Tabela de correlação, verifica-se que o MOR e o MOE apresentaram valores de correlação significativos para todas as variáveis independentes analisadas.

Em relação à proporção de serragem, o valor de correlação foi de -0,41453 e -0,55529, significativos à probabilidade menor que 0,0001, indicando que, quando cresce a proporção de serragem, o MOR e o MOE diminuem.

Quanto ao teor de adesivo, há uma correlação de 0,19883 e 0,30909, à probabilidade de 0,0347 e 0,0009 respectivamente. Esses valores revelam que, aumentando-se a proporção de adesivo, eleva-se o valor do MOR e do MOE.

Já quanto à densidade, há uma correlação de 0,27988 e 0,44899, à probabilidade de 0,0027 e inferior a 0,0001, respectivamente, significando que, com o aumento da densidade, o valor de MOR e MOE aumenta.

Considerando todos os valores obtidos, o ajuste do modelo de MOR e MOE, em função da proporção de serragem, adesivo e densidade, passa a ser significativo, confirmando a influência da densidade sobre as outras variáveis.

Como o valor de P no modelo é menor do que 0,01, há uma relação de significância estatística entre as variáveis para um nível de 99 % de confiança.

As Figuras 11, 12, 13 e 14 mostram os gráficos com o modelo de regressão para MOR e MOE, com valores respectivamente ajustados em função da densidade para as 3 proporções de serragem e mantendo fixo a percentagem de adesivo, cujos coeficientes e precisões encontram-se na Tabela 5.

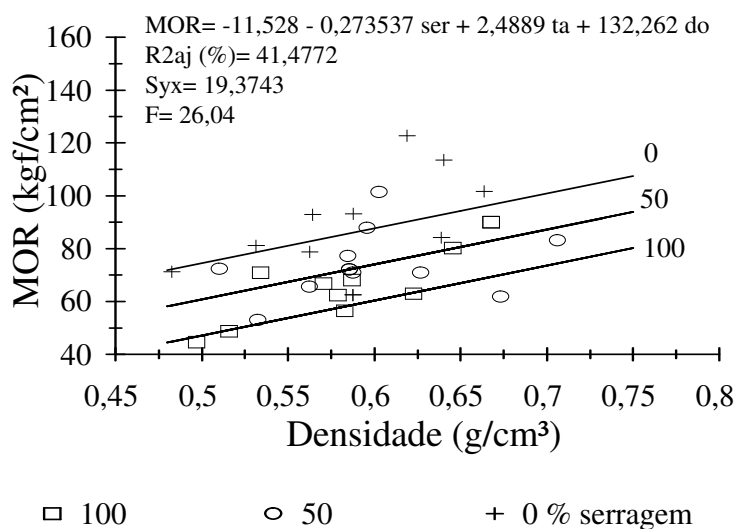


FIGURA 10. Valores de MOR, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 8 %

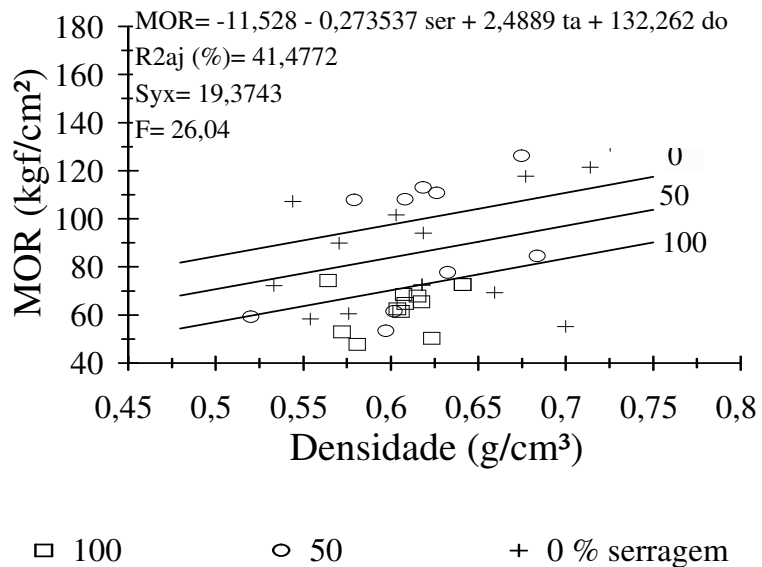


FIGURA 11. Valores de MOR, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 12 %

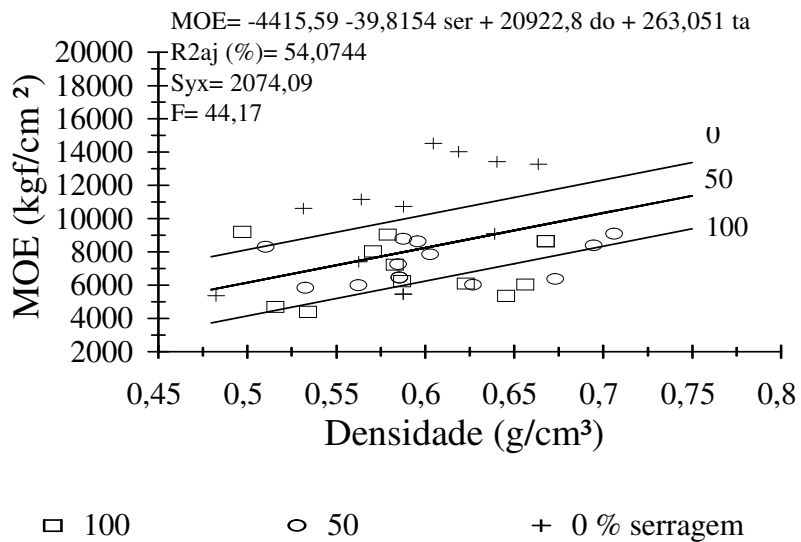


FIGURA 12. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 8 %.

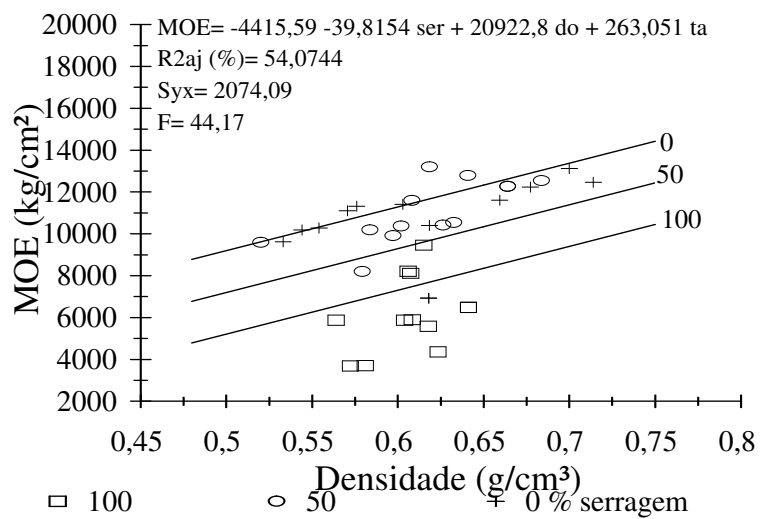


FIGURA 13. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade (do), proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) igual a 12 %.

TABELA 5. Equações ajustadas para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação.

Propriedade	Equação ajustada	F	Syx	R ² aj. (%)	DU
MOR	-11,528 – 0,273537 ser + 2,4889 ta + 132,262 do	26,04	19,3743	41,4772	1,9431
MOE	-4415,59 –39,8154 ser + 20922,8 do + 263,051 ta	44,17	2074,09	54,0744	1,8263
LI	-0,526428 + 0,12026 ta + 2,11051 do	29,15	0,880900	17,689	1,61814
AP	-41,3043 + 1,01959 ta + 154,463 do	30,27	12,0087	36,6959	1,85876
I ₂₄	2,94344 - 1,73181 ta + 0,118414 ser +50,7642 do	88,89	4,99904	72,9044	1,03298
Abs ₂₄	127,771+ 0,181145 ser - 2,62086 ta –66,7142 do	35,68	11,8704	49,296	1,23297

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Do= densidade observada (g/cm³); Ser= serragem; MOR= módulo de ruptura (kgf/cm²); MOE= módulo de elasticidade (kgf/cm²); LI= ligação interna; AP= resistência ao arrancamento de parafusos (kgf); IE24= inchamento em espessura 24 horas de imersão (%); Ab24= absorção em peso 24 horas de imersão (%); F= teste de F; Syx= erro padrão da estimativa; R²aj.=coeficiente de determinação; DU= teste de Durbin-Watson

Para chapas fabricadas com maravalha e mistura de serragem-maravalha, sendo a densidade $0,6 \text{ g/cm}^3$, os valores médios observados foram menores, mas bastante próximos dos de densidade de $0,7 \text{ g/cm}^3$.

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

4.2.2 Tração perpendicular à superfície da chapa (Ligação interna)

A norma de comercialização ANSI A 208.1 usada nos ensaios de resistência à tração perpendicular das chapas de partículas de baixa e média densidade (menor que $0,59$ e entre $0,59$ e $0,8 \text{ g/cm}^3$ respectivamente), estabelece como valores mínimos requeridos de resistência $1,40$ e $4,22 \text{ kgf/cm}^2$.

Os resultados dos valores médios de resistência à tração perpendicular avaliados nas chapas, considerando o efeito do tipo de material, percentagem de adesivo e a densidade, são mostrados na Tabela 6. Pode ser observado que os valores médios de LI oscilam entre $0,92$ e $2,36 \text{ kgf/cm}^2$.

TABELA 6. Valores médios de ligação interna (LI) encontrados para os diferentes tratamentos

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm^3)	Do (g/cm^3)	Tuc (%)	Tue (%)	LI (kgf/cm^2)
1	100	0	4	0,60	0,54	10,94	9,29	1,37
2	100	0	8	0,60	0,58	11,19	9,03	2,08
3	100	0	12	0,60	0,56	11,33	9,22	1,77
4	100	0	4	0,70	0,65	12,17	9,23	1,76
5	100	0	8	0,70	0,60	11,27	9,26	1,89
6	100	0	12	0,70	0,60	11,61	8,75	1,88

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tuc (%)	Tue (%)	LI (kgf/cm ²)
7	0	100	4	0,60	0,57	10,89	8,59	0,92
8	0	100	8	0,60	0,57	11,44	8,64	2,07
9	0	100	12	0,60	0,59	10,98	8,35	2,26
10	0	100	4	0,70	0,65	10,25	8,33	0,92
11	0	100	8	0,70	0,65	10,88	8,46	1,65
12	0	100	12	0,70	0,66	11,64	8,36	2,16
13	50	50	4	0,60	0,56	10,72	9,02	0,93
14	50	50	8	0,60	0,57	11,14	8,95	1,18
15	50	50	12	0,60	0,59	11,29	8,79	2,29
16	50	50	4	0,70	0,64	11,07	8,85	1,02
17	50	50	8	0,70	0,66	12,23	8,79	1,99
18	50	50	12	0,70	0,64	11,71	8,34	2,36

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm³); Do= densidade observada (g/cm³); Tue= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); LI (kgf/cm²).

Em ensaios efetuados para LI nas chapas produzidas pode ser observado que os tratamentos 2, 3, 8, 9 e 15, nos quais foram usadas densidades abaixo de 0,6 g/cm³, superaram o valor mínimo determinado. Por outro lado, os valores dos tratamentos usando-se densidades acima de 0,6 g/cm³, não apresentaram nenhum valor médio que atingisse o valor mínimo requerido.

O valor de ligação interna foi maior com o uso de adesivo em proporção de 12 % , independentemente do tipo de resíduo.

Brito (1984) e Maciel (2001) observaram também que a resistência à tração perpendicular foi influenciada positivamente pela maior quantidade de adesivo empregada.

O aumento da densidade eleva a ligação interna, o que também foi encontrado por Hillig (2000).

A correlação entre a propriedade de ligação interna da chapa e as variáveis analisadas pode ser vista na Tabela 7.

Observando a Tabela de correlação, verifica-se que a ligação interna ou resistência à tração apresentou valores de correlação significativos para as variáveis independentes teor de adesivo e densidade observada, e um valor não significativo para proporção de serragem.

TABELA 7. Correlação de Pearson entre a ligação interna e as variáveis de fabricação das chapas

	Ligação Interna ((kgf/cm ²))	Proporção de serragem (%)	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm ³)
LI (kgf/cm ²)	1			
Proporção de serragem (%)	0,04758 ns	1		
Teor de Adesivo (%)	0,34666(**)	0,00561 ns	1	
Densidade obs. (g/cm ³)	0,12551(*)	-0,22257(**)	0,02288 ns	1

*significância da correlação a 5 %; ** significância da correlação 1 %; ns-correlação não significativa

Em relação ao teor de adesivo, há um valor de correlação de 0,34666, significativo à probabilidade menor que 0,0001, indicando que, quando é elevado o teor de adesivo, ocorre um aumento da ligação interna. Já quanto à densidade, há uma correlação de 0,12551, significativa a 0,0401, revelando que, com o aumento da densidade, a ligação interna torna-se maior.

O melhor modelo de regressão linear ajustado inclui o teor de adesivo e a densidade, com um valor de P menor que 0,01, relacionando significativamente essas variáveis a um nível de confiança de 99 %. O coeficiente de determinação de 17,70 % sugere que apenas parte da LI é explicada pelo modelo.

O modelo de regressão para LI é mostrado na Figura 15 com valores respectivamente ajustados em função da densidade, para as três proporções de adesivo, e mantendo fixo a percentagem de serragem, cujos coeficientes e precisões encontram-se na Tabela 5.

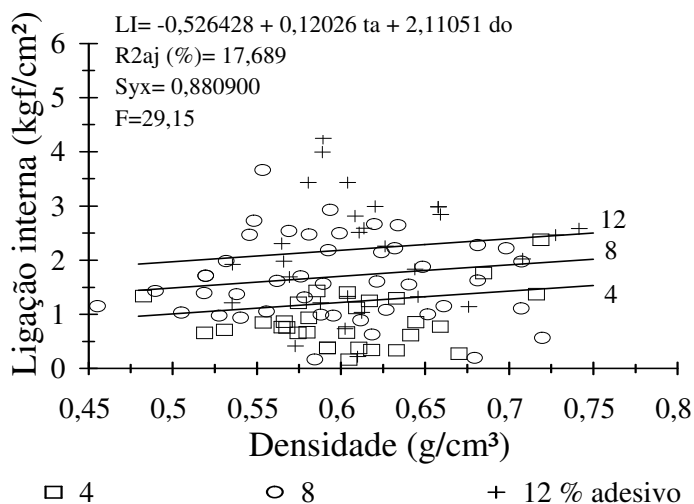


FIGURA 14. Valores de Ligação interna, observados e ajustados em função da densidade (do) e da proporção de adesivo (ta), para 0% de serragem

4.2.3 Arrancamento de parafusos

A resistência ao arrancamento de parafusos é uma propriedade importante em certas aplicações especiais, principalmente em painéis utilizados na indústria moveleira.

Nos ensaios de arrancamento de parafusos de forma perpendicular à superfície da chapa, a norma de comercialização ANSI A 208.1 das chapas de partículas de baixa e média densidade (menor que 0,59 e entre 0,59 e 0,8 g/cm³, respectivamente) admite como valores mínimos requeridos de resistência 61 e 102 kgf.

Os valores médios de resistência ao arrancamento de parafusos perpendicular à superfície estão representados na Tabela 8.

Pode ser observado que os valores médios de arrancamento de parafusos oscilam entre 46 e 76 kgf.

Nos ensaios efetuados para AP nas chapas produzidas pode ser observado que os tratamentos 2, 3, 9 e 15, nos quais foram usadas densidades abaixo de $0,6 \text{ g/cm}^3$, superaram o valor mínimo determinado. Já nos tratamentos nos quais foram usadas densidades inferiores a $0,7 \text{ g/cm}^3$, não houve nenhum valor médio que atingisse o valor mínimo requerido.

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

Foi observado que, com o aumento da densidade, houve uma maior resistência ao arrancamento de parafusos.

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

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

TABELA 8. Valores médios de arrancamento de parafusos (AP) para os diferentes tratamentos

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm^3)	Do (g/cm^3)	Tuc (%)	Tue (%)	AP (kgf)
1	100	0	4	0,60	0,54	10,94	9,29	47
2	100	0	8	0,60	0,58	11,19	9,03	61
3	100	0	12	0,60	0,56	11,33	9,22	61
4	100	0	4	0,70	0,65	12,17	9,23	68
5	100	0	8	0,70	0,60	11,27	9,26	57
6	100	0	12	0,70	0,60	11,61	8,75	60
7	0	100	4	0,60	0,57	10,89	8,59	47
8	0	100	8	0,60	0,57	11,44	8,64	55
9	0	100	12	0,60	0,59	10,98	8,35	62
10	0	100	4	0,70	0,65	10,25	8,33	63
11	0	100	8	0,70	0,65	10,88	8,46	75
12	0	100	12	0,70	0,66	11,64	8,36	76
13	50	50	4	0,60	0,56	10,72	9,02	50

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tuc (%)	Tue (%)	AP (kgf)
14	50	50	8	0,60	0,57	11,14	8,95	46
15	50	50	12	0,60	0,59	11,29	8,79	68
16	50	50	4	0,70	0,64	11,07	8,85	60
17	50	50	8	0,70	0,66	12,23	8,79	74
18	50	50	12	0,70	0,64	11,71	8,34	70

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm³); Do= densidade observada (g/cm³); Tue= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); AP= resistência ao arrancamento de parafusos (kgf)

A correlação entre a propriedade de resistência ao arrancamento de parafusos da chapa e as variáveis analisadas pode ser vista na Tabela 9.

TABELA 9. Correlação de Pearson entre as propriedades de resistência ao arrancamento de parafusos e as variáveis de fabricação das chapas

	AP (kgf)	Proporção de serragem (%)	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm ³)
AP (kgf)	1			
Proporção de serragem (%)	-0,09799 ns	1		
Teor de adesivo (%)	0,25679 (**)	0 ns	1	
Densidade Obs. (g/cm ³)	0,59795 (**)	-0,15045 ns	0,12422 ns	1

*significância da correlação a 5 %; ** significância da correlação 1 %; ns-correlação não significativa

Observando a Tabela de correlação, verifica-se que, na resistência ao arrancamento de parafusos, apresentam-se valores de correlação significativos para as variáveis independentes teor de adesivo e densidade e um valor não significativo para proporção de serragem.

Em relação ao teor de adesivo, há uma correlação de 0,25679, significativa à probabilidade de 0,0073, indicando que, quando aumenta o teor de adesivo, ocorre um aumento na resistência no arrancamento de parafusos.

Já, quanto à densidade, há uma correlação de 0,59795, significativa à probabilidade menor que 0,0001, indicando que, quanto maior densidade, maior a resistência ao arrancamento de parafusos.

O melhor modelo de regressão linear para o arrancamento de parafusos inclui o teor de adesivo e a densidade, com um valor de P menor que 0,01, relacionado à significância estatística entre as variáveis, a um nível de confiança de 99 %.

A Figura 16 mostra o gráfico com o modelo de regressão para AP, com valores respectivamente ajustados em função da densidade, para as 3 proporções de adesivo, cujos coeficientes e precisões encontram-se na Tabela 5.

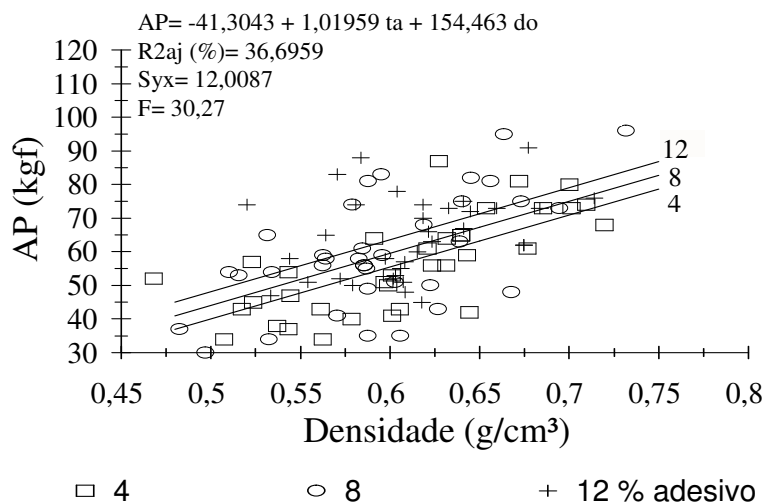


FIGURA 15. Valores de resistência ao arrancamento de parafusos observados e ajustados em função da densidade (do) e da proporção de adesivo (ta) de 4 a 12 %.

4.3 Propriedades físicas das chapas relacionadas com as variáveis de fabricação.

4.3.1 Absorção d'água e inchamento em espessura.

As chapas de partículas sofrem grandes alterações, quando expostas à umidade, tais como o inchamento em espessura, que é bastante representativo. Os efeitos da umidade sobre as chapas causam alterações nas suas propriedades impossibilitando seu uso em ambientes externos ou com fins estruturais. Existem diversas variáveis

do processo que podem influir no inchamento em espessura, como espécie, geometria das partículas, densidade da chapa, teor de resina e condições de prensagem. A absorção de água e o inchamento em espessura são afetados pela umidade e a temperatura de exposição, entre outros.

Segundo a maioria dos pesquisadores, o aumento no teor de adesivo reduz o inchamento em espessura e, embora a tendência não seja bem estabelecida, este é elevado com o aumento da densidade da chapa.

4.3.1.1 Absorção d'água

Os valores médios de absorção d'água, após 24 horas de imersão, estão listados na Tabela 10.

Observa-se nesta tabela, que os valores médios de absorção de água oscilaram entre 47,7 e 91,96 %. Tais valores foram correlacionados com as variáveis de fabricação, junto com o inchamento em espessura, e podem ser vistos na Tabela 11.

TABELA 10. Valores médios de absorção de água, encontrados para os diferentes tratamentos

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tuc (%)	Tue (%)	Ab24 (%)
1	100	0	4	0,60	0,54	10,94	9,29	84,20
2	100	0	8	0,60	0,58	11,19	9,03	90,85
3	100	0	12	0,60	0,56	11,33	9,22	75,67
4	100	0	4	0,70	0,65	12,17	9,23	84,08
5	100	0	8	0,70	0,60	11,27	9,26	90,33
6	100	0	12	0,70	0,60	11,61	8,75	76,54
7	0	100	4	0,60	0,57	10,89	8,59	80,68
8	0	100	8	0,60	0,57	11,44	8,64	64,56
9	0	100	12	0,60	0,59	10,98	8,35	53,26
10	0	100	4	0,70	0,65	10,25	8,33	86,22
11	0	100	8	0,70	0,65	10,88	8,46	58,93
12	0	100	12	0,70	0,66	11,64	8,36	47,70
13	50	50	4	0,60	0,56	10,72	9,02	88,61
14	50	50	8	0,60	0,57	11,14	8,95	74,63
15	50	50	12	0,60	0,59	11,29	8,79	66,44
16	50	50	4	0,70	0,64	11,07	8,85	91,96
17	50	50	8	0,70	0,66	12,23	8,79	78,73
18	50	50	12	0,70	0,64	11,71	8,34	56,63

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm³); Do= densidade observada (g/cm³) ; Tue= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); Ab24= absorção em peso-24 horas de imersão

TABELA 11. Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação das chapas

	Ab24 (%)	IE24 (%)	Proporção de serragem (%)	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm ³)
Ab 24 (%)	1				
IE 24 (%)	0,6676 (**)	1			
Proporção de serragem (%)	0,45238 (**)	0,47723 (**)	1		
Teor de adesivo (%)	-0,50986 (**)	-0,63593 (**)	0 ns	1	
Densidade obs. (g/cm ³)	-0,20598 (*)	0,29562 (**)	-0,03244 ns	-0,02907 ns	1

*significância da correlação a 5 %;** significância da correlação 1 %; ns-correlação não significativa

Observando a Tabela de correlação, verifica-se que a absorção de água e inchamento em espessura, após 24 horas, apresentaram valores de correlação significativos em todas as variáveis independentes analisadas.

Em relação à proporção de serragem, o valor de correlação foi de 0,45238 e 0,47723, significativos à probabilidade de 0,0001. Isso significa que, quando é acrescida a proporção de serragem, elevam-se a absorção e o inchamento.

Quanto ao teor de adesivo, há uma correlação de - 0,50986 e de - 0,63593 à probabilidade de 0,0001, indicando que com o aumento do teor de adesivo, ocorre uma redução na absorção e no inchamento.

No que se refere à densidade, há uma correlação de -0,20598 e 0,29562, à probabilidade de 0,0325 e 0,0019 respectivamente, a qual revela que, sendo elevada a densidade, a absorção diminui, e o inchamento aumenta.

Também foi verificado neste trabalho que, aplicando-se 12% de adesivo na chapa, a absorção diminui, e que esta aumenta com a redução da densidade.

Na análise de absorção de água em função das variáveis de produção, o melhor modelo para explicar a absorção em peso após 24 horas, para todas as chapas fabricadas, inclui as proporções de serragem, teor de adesivo e densidade. O valor de P é menor que 0,01, relacionando a significância estatística entre as variáveis para um nível de confiança de 99 %.

As Figuras 17 e 18 mostram os gráficos com o modelo de regressão, para absorção de água após 24 horas, com valores respectivamente ajustados em função da densidade, para as três proporções de serragem e mantendo fixa a percentagem de adesivo, cujos coeficientes e precisões encontram-se na Tabela 5.

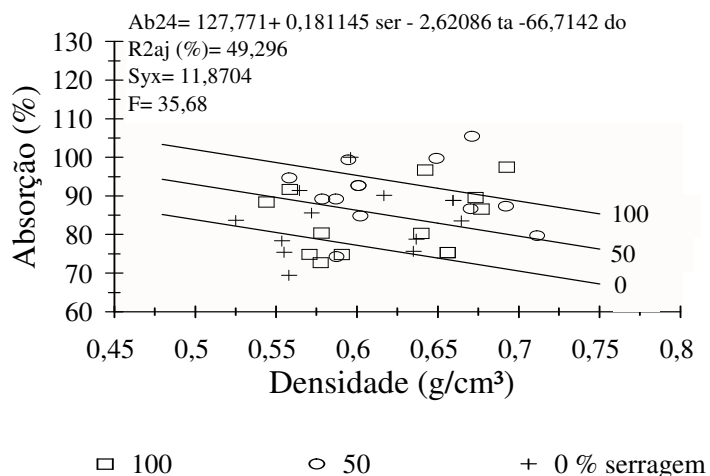


FIGURA 16. Valores de absorção de água após 24 horas de imersão (Ab24), observados e ajustados em função da densidade (do), a proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) de 4%.

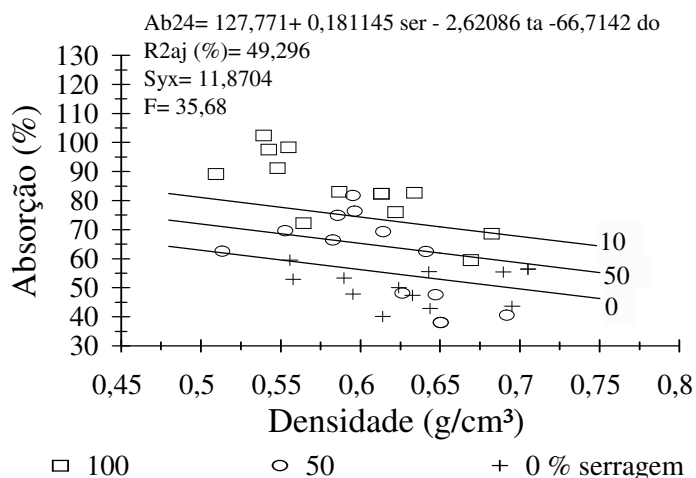


FIGURA 17. Valores de absorção de água após 24 horas de imersão (Ab_{24}), observados e ajustados em função da densidade (do), a proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) de 12%.

4.3.1.2 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura variaram entre 13,36 % e 41,39 % sendo apresentados na Tabela 12.

Tais resultados demonstram que, quando a densidade aumenta e a proporção de adesivo diminui, o inchamento em espessura torna-se maior.

Quanto ao tipo de resíduo, o inchamento em espessura aumenta usando-se serragem, seguida de mistura e, por último, das maravalhas.

Os valores mais baixos de inchamento em espessura, independentemente das densidades, foram obtidos com o uso de adesivo em proporção de 12 %. Isto foi verificado também por Albuquerque (2002), que observou uma diminuição em absorção de água e inchamento em espessura, aumentando o teor de adesivo de 8 para 12 %.

Foi observado que os corpos de prova de maravalha apresentaram menor inchamento em espessura, sendo que os tratamentos 8, 9 e 12 produziram chapas que atenderam as exigências da norma DIN (1967), sendo o valor máximo admitido de 15 % para IE 24 h.

Sobre isto, Maciel (2001) observou que as chapas elaboradas com madeira de *Pinus* são menos sensíveis ao inchamento em espessura do que aquelas produzidas com madeira de eucalipto.

TABELA 12. Valores médios de inchamento em espessura, encontrados para os diferentes tratamentos

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tuc (%)	Tue (%)	IE24 (%)
1	100	0	4	0,60	0,54	10,94	9,29	35,49
2	100	0	8	0,60	0,58	11,19	9,03	25,75
3	100	0	12	0,60	0,56	11,33	9,22	23,50
4	100	0	4	0,70	0,65	12,17	9,23	40,04
5	100	0	8	0,70	0,60	11,27	9,26	28,67
6	100	0	12	0,70	0,60	11,61	8,75	30,14
7	0	100	4	0,60	0,57	10,89	8,59	21,99
8	0	100	8	0,60	0,57	11,44	8,64	14,55
9	0	100	12	0,60	0,59	10,98	8,35	13,36
10	0	100	4	0,70	0,65	10,25	8,33	32,59
11	0	100	8	0,70	0,65	10,88	8,46	21,49
12	0	100	12	0,70	0,66	11,64	8,36	14,20
13	50	50	4	0,60	0,56	10,72	9,02	36,73
14	50	50	8	0,60	0,57	11,14	8,95	26,88
15	50	50	12	0,60	0,59	11,29	8,79	19,39
16	50	50	4	0,70	0,64	11,07	8,85	41,39
17	50	50	8	0,70	0,66	12,23	8,79	30,24
18	50	50	12	0,70	0,64	11,71	8,34	20,43

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm³); Do= densidade observada (g/cm³); Tue= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); IE24= inchamento em espessura -24 horas de imersão

Iwakiri *et al.* (1996), estudando a mistura de espécies de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliotti*, observaram que, com o aumento da proporção de *Pinus* no painel, elevavam-se os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura.

O mesmo fato foi observado por Hillig (2000) ao usar proporções de *Pinus* na fabricação de chapas, o que influenciou no inchamento em espessura comparado com eucaliptus e acacia, atingindo uma média de 25,31 %.

O melhor modelo encontrado para explicar o inchamento em espessura inclui proporção de serragem, teor de adesivo e densidade, que são significativos no modelo, com um valor de P inferior a 0,01, relacionando a significância estatística entre as variáveis para um nível de confiança de 99 %.

As Figuras 19 e 20 mostram os gráficos com o modelo de regressão para inchamento em espessura após 24 horas, com valores respectivamente ajustados em função da densidade, para as três proporções de serragem, e mantendo fixa a percentagem de adesivo, cujos coeficientes e precisões encontram-se na Tabela 5.

Deve-se salientar o efeito marcante da proporção de serragem, provavelmente relacionada à presença de casca, e do adesivo no inchamento em espessura. Além disso, apesar da densidade da chapa causar um decréscimo na absorção de água, há um aumento do IE 24h com o aumento da densidade. Isso pode ser explicado em parte pela liberação das tensões geradas durante a prensagem (spring back), que é acelerada pela absorção de água (Suchsland, 1973).

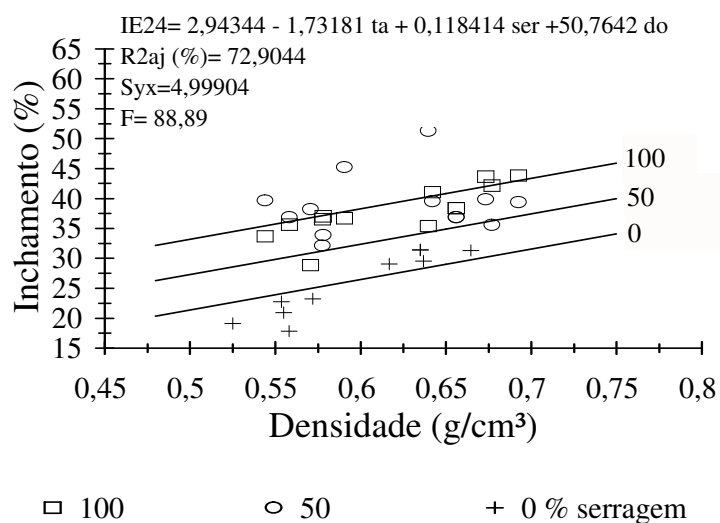


FIGURA 18. Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE24) observados e ajustados em função da densidade (do), a proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) de 4 %

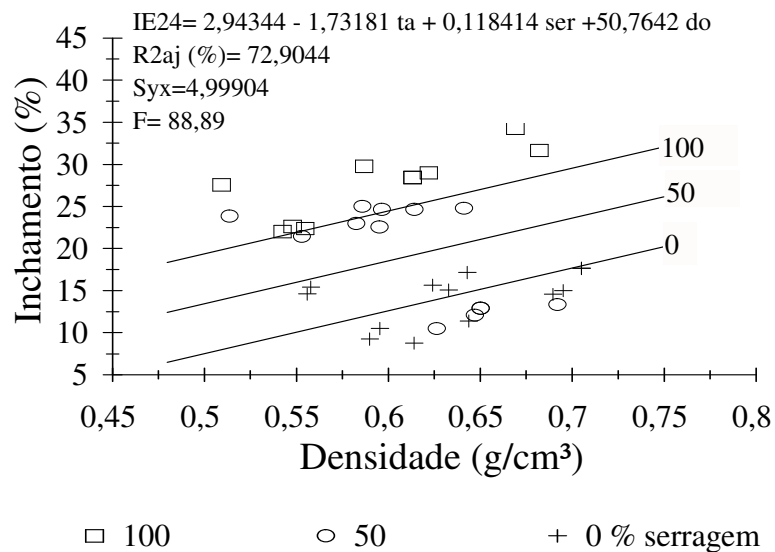


FIGURA 19. Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE_{24}) observados e ajustados em função da densidade (do), a proporção de serragem (ser) e teor de adesivo (ta) de 12 %.

Fazendo uma análise geral, observa-se que foram encontrados modelos de regressão significativos para todas as variáveis estudadas em função dos parâmetros de produção. A percentagem de serragem apenas tem efeito significativo no LI e AP, tendo influenciado negativamente no MOR e MOE e aumentado a Ab_{24h} e IE_{24h} .

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, as seguintes conclusões são apresentadas:

Considerando o processo de redução do resíduo de serraria no moinho de martelo, foi observado que o mesmo gerou um material de qualidade inferior com partículas de dimensões variáveis e pouco resistentes, danificando assim a resistência da chapa, quando comparadas com aquelas geradas diretamente de toretes, as quais podem ser obtidas com dimensões definidas.

Provavelmente outro fator que influenciou na diminuição de resistência de todas as propriedades estudadas neste trabalho foi a presença de casca por ser este um material pouco resistente.

Os valores médios encontrados para o MOR atingiram os valores exigidos pelos padrões de qualidade internacional em tratamentos de baixa densidade, e no caso do MOE só alguns tratamentos atingiram os valores desejáveis. No entanto, foi observado que com o uso de maravalha e aumentando a densidade da chapa, com um teor de adesivo entre 8 e 12 %, os valores vão aumentando.

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

Os valores médios encontrados para ligação interna superaram o valor mínimo determinado pelos padrões de qualidade internacional, para baixa densidade. Contudo, foi observado que, aumentando-se a densidade, e com teor de adesivo entre 8 e 12 %, a ligação interna aumenta. O teor de adesivo foi a variável que apresentou maior influência sobre a ligação interna.

Foi observado também que a serragem não afeta a ligação interna, o que permitiria sua inclusão em pequenas quantidades nas camadas internas das chapas aglomeradas.

Os valores médios encontrados para a resistência ao arrancamento de parafusos atingiram os valores exigidos pelos padrões de qualidade internacional em alguns tratamentos para as chapas de baixa densidade. A densidade foi a variável que teve maior influência nesta propriedade, seguida do teor de adesivo.

No inchamento em espessura, não foram atingidos os valores mínimos requeridos na maioria dos tratamentos, mas pode ser observado que, utilizando-se maravalhas,

independentemente da densidade ou do teor de adesivo, o inchamento é menor, comparado com o resíduo de serraria ou com a mistura de ambos.

Na absorção de água e no inchamento em espessura, foi constatado que a variável que exerceu maior influência foi o teor de adesivo, seguido da densidade, e da proporção de material.

A serragem foi o material que apresentou os resultados menos satisfatórios nestas propriedades.

De forma geral, considerando a mistura dos resíduos, não foram observadas vantagens muito grandes na melhoria da qualidade das chapas, sendo encontrados valores intermediários comparando-se com o uso dos resíduos de forma individual.

Considerando os três parâmetros de fabricação estudados, apenas a chapa produzida segundo o tratamento 9 está de acordo com as exigências das normas de comercialização.

Recomenda-se o estudo sobre a mistura desse tipo de resíduos, com outras espécies, ou outros tipos de partículas, considerando também a proporção de casca ideal a ser incluída se fossem utilizados na fabricação de chapas de 3 camadas e usados como miolo das mesmas.

A presença de casca pode-ser considerada então como o principal entrave na utilização dos resíduos do processamento mecânico da madeira geradas por serrarias de pequeno e médio porte, que não realizam a operação de descascamento das toras, na fabricação de painéis aglomerados.

Realizando uma análise geral das propriedades, pode-se recomendar a utilização destas chapas para uso interno como na fabricação de móveis.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKERS, L.E. **Particle board and hardboard**. Great Britain: Balckie & Son Ltda., 1966. v.4, 172 p.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Consumo energético de um sistema de pré-secagem de partículas para a produção de painéis de madeira aglomerada. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, n.31, p.52-61, 2001.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2002.

ALBUQUERQUE, C. E. *et al.* Otimização do tempo de prensagem em aglomerados por monitoramento em tempo real do colchão de partículas. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS,2.e SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS,1., 2002, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. p.68.

AYALA, K. M.; VIEIRA, D. V.; DUPUY, MA. A. G. Experiência del aprovechamiento de los residuos em um aserrio. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS,2. e SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS,1., 2002, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. p.118.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials, D 1037-93**. Philadelphia, PA., 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for urea-formaldehyde resin adhesives, D 4690-95a**. Philadelphia, PA., 1999.

BRAND, M. A. *et al.* Qualificação dos resíduos madeiráveis gerados nas indústrias de base florestal na região de Lages – SC. In: In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS,2. e SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS,1., 2002, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. p.116.

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais waferboard**. 1984. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus elliottii Engelm. var. elliottii plantado no Sul de Brasil**. 1995. 123p. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BRITO, E. O.; SILVA, V.C. Propriedade de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arbórea* Linn. Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro. v.9, n.1, p.127-134, 2002.

BURGUER, L. M.; RITCHER, H. G. **Anatomia de madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CONAF. Pellets de aserrín. Combustible del futuro. **Revista Chile Forestal**. n.53. p.5-7, 1995.

FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación). **Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera**. Roma, 1968. 250p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación). **Actas de la consulta mundial sobre paneles a base de madera**. Roma, 1975. 245p.

FUENTES, F.J., *et al.* Tableros aglomerados de partículas a partir de materias primas no tradicionales. **Revista ICIDCA**, Guadalajara. V.3, n.25, p.50-54, 1991.

GALVÃO A. P. MENDES. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Brasília: Embrapa. 2000. 351p.

GARAY, D. A.; DURAN, J. A.; MORENO, P. A. Tableros aglomerados de partículas a partir de las especies teca y melina. **Revista Forestal Venezolana**. n.45, 2. p.205-212, 2001.

GARCIA E., L.; GUINDEO C., A.; de PALACIOS d.P., P. **Maderas de Coníferas: anatomia de gêneros**. Madrid: Fundación conde Del Valle de Salazar. 1996. 349 p.

GINZEL, W., PERAZA, C. **Tecnología de tableros de partículas**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187 p.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e embaúva (*Cecropia sp.*)** 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

HASELEIN, C.R., *et al.* Resistência à flexão estática de alguns painéis aglomerados comercializados no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v.11, n.1, p.195-200, 2001.

HASELEIN, C. R. *et al.* Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v.12, n.2. p.127-134, 2002.

HASELEIN, C. R.; PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira II: parte I**. Santa Maria: Imprensa Universitária. 2003. 82 p.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino- formaldeído.** 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus.** 1989. 129p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI S. *et al.* Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais *waferboard*. **Agrárias**, Curitiba, v.14, p.107-114, 1995.

IWAKIRI S. *et al.* Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*. **Agrárias**, Curitiba, v.15, p. 33-41, 1996.

IWAKIRI S. *et al.* Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm. com inclusão laminar. **CERNE**, v.5, n.2, p. 86-94, 1999.

IWAKIRI S.; PEREIRA, S. J.; NISGOSKI, S. Influência da umidade, pressão e tempo de prensagem na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada. **Agrárias**, Curitiba. v.18. n.1-2. p.29-36 , 1999.

IWAKIRI, S., *et al.* Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.7, n.1, p.251-256, 2000.

IWAKIRI S. *et al.* Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.137-142 , 2001.

IWAKIRI S. Painéis de madeira: características tecnológicas e aplicação. **Revista da madeira**, Curitiba, p.4-10, maio, 2003. Edição especial.

KEINERT, S.; MATOS, J.L.M. Utilização de *Pinus pinaster* para a fabricação de chapas de partículas. **Floresta**, v.17, n.1 / 2., p.113-120. 1987.

KEINERT, S. Atualidades e perspectivas da utilização da madeira de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.* para produção de painéis no Brasil e no exterior. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL.1, 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade de Investigações Florestais, 1993. p.227-239.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard.** Madison: USDA Forest Service General, 1977. 66 p. (Technical Report FPL-10)

KOCH, P. **Wood machining processes.** New York: The Ronald Press, 1964. 530 p.

KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer-Verlag, v.2, 1975. 703 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura em los trópicos** [S.l]: Eschborn,1990, 343 p.

LOXTON, C., HAGUE, J. Utilization of agricultural crop materials in panel products. In: **Forest Products Society**. The use of recycled wood. Madison, 1997. p.190-192.

MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato**. 2001, 115p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

MCREDIE, W.H. Formaldehyde emissions from UF particleboard voluntary standards vs. EPA regulation. In: INTERNATIONAL PARTICLES/COMPOSITE MATERIAL SYMPOSIUM WSU. 26., 1992, local. **PROCEEDINGS 26 TH**. Local, 1992. p.115-123

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & Dry-process fiberboard manufacturing**. 3.ed. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672p.

MARCHIORI, J. N. C. Influência da estrutura anatômica na secagem da madeira. In: **Seminário sobre secagem de madeira, 1**. Santa Maria: UFSM, CEPEF: FATEC, 1992. 100p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 457p.

MICHANICKI, A. Recovery of fibers and particles from wood-based products. In: **Forest Products Society**. The use of recycled wood. Madison, 1997. p.115-119.

MICHAQUE, A.M.M., Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais *Waferboards*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7. e CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1. 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS, SBEF, 1993, 613-622p

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 244 p., 2v.

OKINO, *et al.* Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. n.52, p. 35-42, 1997.

OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A.; ROCHA, M. P. Avaliação do rendimento em madeira serrada, qualidade e quantidade de resíduos no desdobro de *Pinus spp.* **Agrárias**, Curitiba. v.17. p.177-184, 1998.

PEIXOTO, G.L.; BRITO, E. O. Avaliação da granulométrica de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.7, n.1, p.60-67, 2000.

PEREDO, M. **Tecnología de tableros de partículas**. Valdivia: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. n.24, 1991.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 370 p.

RIJO, C. Influencia del aumento de la densidad y nivel de adhesivo en las propiedades mecánicas de tableros de partículas de *Chusquea culeou* aglomerados con urea formaldehído. **Bosque**, Santo Domingo, v.9, n.1, p.53-59, 1988.

ROQUE, C. A. L. **Painéis de madeira aglomerada SET 805.doc- www.bndes.gov.br**, 1998. 22 p.

SAMPLAIC, J. As vantagens da pré-prensagem das chapas de madeira. **Revista da madeira**, n.365. ano 31. p.10-14, 1982.

SINGH, S. P.; SINGH, J. P.; RAWAT, S. S. Particleboard from *Populus deltoides*. **Journal of the Timber Development Association of India**. v.41, n.4, p.17-21,1995.

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. Canadá: Van Nostrand Reinhold, 3.ed. 1990. 779 p.

SMITH, D. C. Utilization of urban wood in the manufacture of particleboard and MDF. In: **Forest Products Society**. The use of recycled wood. Madison, 1997. p.53-56.

SUCHSLAND, O. Higroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboard. **Forest ;Products Journal**. v23, n 7, p. 26-30, 1973

TEIXEIRA, D. E., *et al.* Aglomerados de bagaço de cana de açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia-Forestalis**, Piracicaba, n.52, p.29-33, 1997.

TOMASELLI, I. A indústria de painéis no Brasil e no mundo. Tendências de mudanças do perfil de produção e usos. In: **Seminário Internacional de Produtos Sólidos de madeira de alta tecnologia, 1**. Belo Horizonte, p 55-64, 1998.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Washington: U. S. Government Printing Office, 1999. 466 p.

VIGNOTE P., S.; JIMÉNEZ P. F. J. **Tecnología de la madera**. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 602 p. 1996.

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. **Árvore**, Viçosa. v.4, n.2, p.179-187, 1980.

VITAL B. R., HASELEIN C. R., DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Árvore**, Viçosa. v.16, n.1, p.88-96, 1992.

7 ANEXOS

ANEXO 1 - Planilha de cálculo

FIGURA 20. -Planilha usada para o cálculo das quantidades de produtos utilizados na fabricação das chapas

Larg. (cm):	50	Área (cm ²):	2500
Comp.(cm):	50	Vol. (cm ³):	2375
Espe.(cm):	0.95		
Dens. g/cm ³ :	0.6		
TU eq. ch. Climatizada %:	8.5	Peso ch. climatizada (g):	1425
		Po total chapa (g) :	1303.875
Teor umidade partículas% :	3		
Teor de adesivo %:	12		
Teor sólido uréia formaldeído %:	63		
Teor sólido de catalizador %:	100		
Teor de catalizador (sulfato de amônia):	10	Teor sólidos partículas %:	97
Teor de parafina %:	1		
Teor sólido parafina %:	55		

	P úmido (g)	P seco (g)
Partícula	1177.06	1141.75
Uréia formaldeído	217.48	137.01
Sulfato de amônia	13.70	13.70
Parafina	20.76	11.42
TOTAL	1428.99	1303.88

TU bu colchão sem a adição de água %:	8.76
Para Tu colchão de (%):	11
portanto, adicionar (g) água:	36,03

Correção:			Tipo de partícula:		
uréia.formal/sulfato	paraf./água	partícula		%	Pu (g)
30	30	20	Serragem	100	1177.1
				0	0.0
			Total	100	1177.1

Pu de componentes (g):

	sem correção	p/ 1 chapa
Partícula	1177.06	1412.50
Uréia formaldehído	217.48	282.70
sulfato de amônia	13.70	17.80
Parafina	20.76	27.0
Água	36,03	43,20
Tambor	1465,03	(g) p/ cada chapa

ANEXO 2 - Valores verificados e utilizados para análise das propriedades mecânicas das chapas: MOR, MOE, AP e LI.

TABELA 13. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (MOR, MOE e AP)

Trat.	CP	Serr. Marav.	Ta	Dn	Do	Tue	Tuc	MOR	MOE	AP	
		(%)	(%)	(%)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(%)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(kgf)
1	4 ^A	100	0	4	0.6	0.52	9.27	11.75	42	4844	45
1	4D	100	0	4	0.6	0.54	9.27	11.75	34	8529	47
1	19 ^A	100	0	4	0.6	0.52	8.98	9.51	34	2471	43
1	19D	100	0	4	0.6	0.55	8.98	9.51	29	6245	29
1	37C	100	0	4	0.6	0.58	9.62	11.57	81	4459	77
1	37D	100	0	4	0.6	0.56	9.62	11.57	60	5435	43
2	12 ^A	100	0	8	0.6	0.60	9.35	10.32	58	4793	83
2	12D	100	0	8	0.6	0.57	9.35	10.32	67	8049	41
2	30 ^A	100	0	8	0.6	0.59	8.85	11.5	68	6267	55
2	30D	100	0	8	0.6	0.53	8.85	11.5	71	4411	54
2	43 ^A	100	0	8	0.6	0.58	8.9	11.75	57	7248	58
2	43D	100	0	8	0.6	0.58	8.9	11.75	63	9047	74
3	1 ^A	100	0	12	0.6	0.62	7.94	11.6	63	6369	66
3	1D	100	0	12	0.6	0.56	7.94	11.6	75	5876	65
3	28 ^A	100	0	12	0.6	0.57	9.77	9.9	53	3698	52
3	28D	100	0	12	0.6	0.58	9.77	9.9	48	3710	74
3	48 ^A	100	0	12	0.6	0.61	8.81	12.5	62	8226	55
3	48D	100	0	12	0.6	0.61	8.81	12.5	69	8116	51
4	16 ^A	100	0	4	0.7	0.65	9.05	12.1	55	8699	73
4	16D	100	0	4	0.7	0.67	9.05	12.1	36	3734	81
4	32 ^A	100	0	4	0.7	0.64	9.34	12.5	33	8242	42
4	32D	100	0	4	0.7	0.68	9.34	12.5	73	7819	61
4	39 ^A	100	0	4	0.7	0.63	9.28	11.9	50	5368	64
4	39D	100	0	4	0.7	0.63	9.28	11.9	23	3622	87
5	2 ^A	100	0	8	0.7	0.65	9.65	9.6	80	5372	82
5	2D	100	0	8	0.7	0.62	9.65	9.6	63	6115	50
5	25 ^A	100	0	8	0.7	0.50	8.84	12.5	45	9219	30
5	25D	100	0	8	0.7	0.52	8.84	12.5	49	4720	53
5	42 ^A	100	0	8	0.7	0.66	9.3	11.71	103	6050	81
5	42D	100	0	8	0.7	0.67	9.3	11.71	90	8667	48
6	7 ^A	100	0	12	0.7	0.61	8.71	11.77	65	5900	48
6	7D	100	0	12	0.7	0.60	8.71	11.77	63	5882	78
6	20 ^A	100	0	12	0.7	0.62	8.73	11.98	68	9465	60
6	20D	100	0	12	0.7	0.62	8.73	11.98	50	4366	63
6	49 ^A	100	0	12	0.7	0.62	8.82	11.07	66	5596	45
6	49D	100	0	12	0.7	0.64	8.82	11.07	73	6494	67
7	18 A	0	100	4	0.6	0.60	8.73	10.39	76	4764	50
7	18D	0	100	4	0.6	0.51	8.73	10.39	76	4914	34

TABELA 13. Continuação...

7	23A	0	100	4	0.6	0.60	8.38	11.75	58	11401	51
7	23C	0	100	4	0.6	0.59	8.38	11.75	120	7101	0
7	23D	0	100	4	0.6	0.56	8.38	11.75	83	9140	34
7	53A	0	100	4	0.6	0.62	8.66	10.52	77	9523	56
7	53D	0	100	4	0.6	0.52	8.66	10.52	81	6810	57
8	5A	0	100	8	0.6	0.61	8.39	11.19	84	12447	35
8	5D	0	100	8	0.6	0.53	8.39	11.19	81	10614	65
8	35A	0	100	8	0.6	0.64	9	11.45	114	13427	75
8	35B	0	100	8	0.6	0.60	9	11.45	175	14528	0
8	35D	0	100	8	0.6	0.56	9	11.45	93	11164	58
8	45A	0	100	8	0.6	0.56	8.54	11.68	79	7410	59
8	45D	0	100	8	0.6	0.48	8.54	11.68	71	5385	37
9	3A	0	100	12	0.6	0.68	8.37	11.68	118	12237	91
9	3D	0	100	12	0.6	0.55	8.37	10.45	58	10284	51
9	33A	0	100	12	0.6	0.60	8.39	11.7	102	11414	53
9	33B	0	100	12	0.6	0.58	8.39	11.7	61	11332	0
9	51A	0	100	12	0.6	0.62	8.28	10.8	94	10410	74
9	51D	0	100	12	0.6	0.54	8.28	10.8	107	10199	58
10	6A	0	100	4	0.7	0.69	8.5	9.61	102	11091	73
10	6D	0	100	4	0.7	0.62	8.5	9.61	95	8126	61
10	29A	0	100	4	0.7	0.72	8.3	11.3	92	14351	68
10	29D	0	100	4	0.7	0.61	8.3	11.3	59	8604	43
10	40A	0	100	4	0.7	0.73	8.19	9.83	90	10495	74
10	40D	0	100	4	0.7	0.62	8.19	9.83	172	9900	56
11	13A	0	100	8	0.7	0.66	8.63	10.84	102	13284	95
11	13D	0	100	8	0.7	0.59	8.63	10.84	93	10737	81
11	24A	0	100	8	0.7	0.73	8.26	12.2	152	18313	96
11	24D	0	100	8	0.7	0.62	8.26	12.2	123	14029	68
11	50A	0	100	8	0.7	0.64	8.48	9.6	84	9104	63
11	50D	0	100	8	0.7	0.59	8.48	9.6	62	5487	49
12	17A	0	100	12	0.7	0.66	8.15	12.16	69	11622	73
12	17D	0	100	12	0.7	0.57	8.15	12.16	90	11113	83
12	34A	0	100	12	0.7	0.73	8.43	11.13	131	17183	99
12	34B	0	100	12	0.7	0.70	8.43	11.13	55	13117	72
12	46A	0	100	12	0.7	0.71	8.5	11.62	121	12466	76
12	46D	0	100	12	0.7	0.62	8.5	11.62	73	6924	55
13	9A	50	50	4	0.6	0.60	9.1	9.95	98	9237	53
13	9D	50	50	4	0.6	0.54	9.1	9.95	48	5915	54
13	36A	50	50	4	0.6	0.59	8.54	11.6	62	5560	64
13	36D	50	50	4	0.6	0.47	8.54	11.6	46	3936	52
13	47A	50	50	4	0.6	0.54	9.4	10.61	37	6046	38
13	47D	50	50	4	0.6	0.54	9.4	10.61	49	5133	37
14	14A	50	50	8	0.6	0.60	8.74	9.91	102	7863	51

TABELA 13. Continuação...

14	14D	50	50	8	0.6	0.51	8.74	9.91	72	8325	54
14	26D	50	50	8	0.6	0.53	9.13	11	53	5850	34
14	41A	50	50	8	0.6	0.59	8.99	12.5	71	8802	35
14	41D	50	50	8	0.6	0.56	8.99	12.5	66	6001	56
15	8 A	50	50	12	0.6	0.64	8.5	11.14	139	12785	75
15	8D	50	50	12	0.6	0.58	8.5	11.14	140	10193	88
15	21A	50	50	12	0.6	0.58	9.13	11	108	8213	50
15	21D	50	50	12	0.6	0.60	9.13	11	62	10374	52
15	54A	50	50	12	0.6	0.62	8.75	11.72	113	13207	70
15	54D	50	50	12	0.6	0.52	8.75	11.72	59	9596	74
16	15 A	50	50	4	0.7	0.70	8.75	12.5	76	8892	80
16	15D	50	50	4	0.7	0.60	8.75	12.5	58	14493	41
16	27A	50	50	4	0.7	0.70	8.77	10.6	82	6903	73
16	27D	50	50	4	0.7	0.58	8.77	10.6	50	4916	40
16	38C	50	50	4	0.7	0.64	9.04	10.1	73	8382	59
16	38D	50	50	4	0.7	0.64	9.04	10.1	53	7584	65
17	11A	50	50	8	0.7	0.69	9.03	12.5	77	8402	73
17	11D	50	50	8	0.7	0.58	9.03	12.5	77	7258	61
17	31A	50	50	8	0.7	0.71	8.4	11.7	83	9098	118
17	31D	50	50	8	0.7	0.60	8.4	11.7	88	8648	59
17	44A	50	50	8	0.7	0.67	8.95	12.5	62	6389	75
17	44D	50	50	8	0.7	0.59	8.95	12.5	72	6462	56
18	10A	50	50	12	0.7	0.68	8.5	9.83	85	12549	73
18	10D	50	50	12	0.7	0.61	8.5	9.83	108	11600	57
18	22 A	50	50	12	0.7	0.60	8.23	10.63	53	9913	58
18	22C	50	50	12	0.7	0.63	8.23	10.63	111	10416	0
18	22D	50	50	12	0.7	0.63	8.23	10.63	78	10546	73
18	52 A	50	50	12	0.7	0.67	8.3	12.5	126	15272	62
18	52D	50	50	12	0.7	0.66	8.3	12.5	133	12279	97

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm³); Do= densidade observada (g/cm³); Tueq= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); MOR= módulo de ruptura (kgf/cm²); MOE= módulo de elasticidade (kgf/cm²); AP= resistência ao arrancamento de parafusos.

TABELA 14. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (LI)

Trat.	CP	Serr. (%)	Marav. (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tue (%)	Tuc (%)	Área (cm ²)	Resistência kgf	Resistência kgf/cm ²
1	4G	100	0	4	0.6	0.52	9.27	11.75	26.05	70	2.69
1	4H	100	0	4	0.6	0.55	9.27	11.75	25.05	46	1.84
1	4I	100	0	4	0.6	0.51	9.27	11.75	26.54	29	1.09
1	4J	100	0	4	0.6	0.53	9.27	11.75	25.03	50	2.00
1	4K	100	0	4	0.6	0.55	9.27	11.75	24.94	38	1.52
1	19G	100	0	4	0.6	0.52	8.98	9.51	24.25	27	1.11
1	19H	100	0	4	0.6	0.59	8.98	9.51	23.90	28	1.17
1	19I	100	0	4	0.6	0.48	8.98	9.51	24.90	24	0.96
1	19J	100	0	4	0.6	0.45	8.98	9.51	24.16	10	0.41
1	19K	100	0	4	0.6	0.48	8.98	9.51	23.96	12	0.50
1	37G	100	0	4	0.6	0.58	9.62	11.57	26.88	74	2.75
1	37H	100	0	4	0.6	0.58	9.62	11.57	27.77	41	1.48
1	37I	100	0	4	0.6	0.52	9.62	11.57	29.75	38	1.28
1	37J	100	0	4	0.6	0.50	9.62	11.57	27.39	30	1.10
1	37K	100	0	4	0.6	0.48	9.62	11.57	28.94	20	0.69
2	12G	100	0	8	0.6	0.63	9.35	10.32	25.60	80	3.12
2	12H	100	0	8	0.6	0.63	9.35	10.32	24.44	49	2.00
2	12I	100	0	8	0.6	0.61	9.35	10.32	24.20	37	1.53
2	12J	100	0	8	0.6	0.60	9.35	10.32	25.70	50	1.95
2	12K	100	0	8	0.6	0.51	9.35	10.32	25.40	17	0.67
2	30G	100	0	8	0.6	0.60	8.85	11.5	29.10	94	3.23
2	30H	100	0	8	0.6	0.61	8.85	11.5	28.98	73	2.52
2	30I	100	0	8	0.6	0.55	8.85	11.5	28.53	64	2.24
2	30J	100	0	8	0.6	0.56	8.85	11.5	28.28	39	1.38
2	30K	100	0	8	0.6	0.54	8.85	11.5	27.98	88	3.14
2	43G	100	0	8	0.6	0.58	8.9	11.75	30.14	100	3.32
2	43H	100	0	8	0.6	0.59	8.9	11.75	28.46	32	1.12
2	43I	100	0	8	0.6	0.53	8.9	11.75	27.83	26	0.93
2	43J	100	0	8	0.6	0.56	8.9	11.75	27.19	57	2.10
2	43K	100	0	8	0.6	0.48	8.9	11.75	26.57	53	1.99
3	1G	100	0	12	0.6	0.61	9.08	11.6	27.19	13	0.48
3	1H	100	0	12	0.6	0.62	9.08	11.6	27.65	26	0.94
3	1I	100	0	12	0.6	0.55	9.08	11.6	28.13	30	1.07
3	1J	100	0	12	0.6	0.51	9.08	11.6	26.99	68	2.52
3	1K	100	0	12	0.6	0.46	9.08	11.6	27.88	44	1.58
3	28G	100	0	12	0.6	0.47	9.77	9.9	30.19	107	3.54
3	28H	100	0	12	0.6	0.51	9.77	9.9	29.32	47	1.60
3	28I	100	0	12	0.6	0.54	9.77	9.9	29.43	49	1.66
3	28J	100	0	12	0.6	0.59	9.77	9.9	29.75	74	2.49

TABELA 14. Continuação...

3	28K	100	0	12	0.6	0.63	9.77	9.9	29.62	34	1.15
3	48G	100	0	12	0.6	0.50	8.81	12.5	25.08	40	1.59
3	48H	100	0	12	0.6	0.50	8.81	12.5	23.84	61	2.56
3	48I	100	0	12	0.6	0.58	8.81	12.5	26.88	33	1.23
3	48J	100	0	12	0.6	0.55	8.81	12.5	26.77	122	4.56
3	48K	100	0	12	0.6	0.59	8.81	12.5	24.79	58	2.34
4	16G	100	0	4	0.7	0.63	9.05	12.1	24.15	22	0.91
4	16H	100	0	4	0.7	0.62	9.05	12.1	24.53	72	2.93
4	16I	100	0	4	0.7	0.67	9.05	12.1	25.30	76	3.00
4	32H	100	0	4	0.7	0.58	9.34	12.5	26.92	63	2.34
4	32I	100	0	4	0.7	0.67	9.34	12.5	27.82	67	2.41
4	32J	100	0	4	0.7	0.70	9.34	12.5	28.35	55	1.94
4	32K	100	0	4	0.7	0.71	9.34	12.5	28.30	115	4.06
4	39G	100	0	4	0.7	0.64	9.28	11.9	27.18	38	1.40
4	39H	100	0	4	0.7	0.65	9.28	11.9	27.93	43	1.54
4	39I	100	0	4	0.7	0.64	9.28	11.9	28.94	45	1.55
4	39J	100	0	4	0.7	0.63	9.28	11.9	29.05	47	1.62
4	39K	100	0	4	0.7	0.62	9.28	11.9	29.96	35	1.17
5	2G	100	0	8	0.7	0.60	9.65	9.6	27.96	63	2.25
5	2H	100	0	8	0.7	0.66	9.65	9.6	28.84	47	1.63
5	2I	100	0	8	0.7	0.62	9.65	9.6	29.59	68	2.30
5	2J	100	0	8	0.7	0.64	9.65	9.6	28.04	13	0.46
5	2K	100	0	8	0.7	0.66	9.65	9.6	28.67	6	0.21
5	25G	100	0	8	0.7	0.44	8.84	12.5	24.60	36	1.46
5	25H	100	0	8	0.7	0.48	8.84	12.5	23.96	69	2.88
5	25I	100	0	8	0.7	0.53	8.84	12.5	24.54	80	3.26
5	25J	100	0	8	0.7	0.57	8.84	12.5	24.40	28	1.15
5	25K	100	0	8	0.7	0.57	8.84	12.5	24.01	49	2.04
5	42G	100	0	8	0.7	0.65	9.3	11.71	30.68	44	1.43
5	42H	100	0	8	0.7	0.61	9.3	11.71	31.29	14	0.45
5	42I	100	0	8	0.7	0.67	9.3	11.71	27.42	43	1.57
5	42J	100	0	8	0.7	0.66	9.3	11.71	27.77	85	3.06
5	42K	100	0	8	0.7	0.64	9.3	11.71	26.16	109	4.17
6	7G	100	0	12	0.7	0.60	8.71	11.77	30.56	68	2.22
6	7I	100	0	12	0.7	0.57	8.71	11.77	29.64	31	1.05
6	7J	100	0	12	0.7	0.54	8.71	11.77	28.67	75	2.62
6	7K	100	0	12	0.7	0.48	8.71	11.77	26.31	46	1.75
6	20G	100	0	12	0.7	0.7	8.73	11.98	24.79	76	3.07
6	20H	100	0	12	0.7	0.54	8.73	11.98	29.28	81	2.77
6	20I	100	0	12	0.7	0.68	8.73	11.98	25.10	55	2.19
6	20J	100	0	12	0.7	0.66	8.73	11.98	24.60	101	4.11
6	20K	100	0	12	0.7	0.63	8.73	11.98	24.65	23	0.93
6	49G	100	0	12	0.7	0.56	8.82	11.07	24.55	38	1.55
6	49H	100	0	12	0.7	0.55	8.82	11.07	25.50	28	1.10
6	49I	100	0	12	0.7	0.58	8.82	11.07	22.94	32	1.39

TABELA 14. Continuação...

6	49J	100	0	12	0.7	0.59	8.82	11.07	24.10	28	1.16
6	49K	100	0	12	0.7	0.61	8.82	11.07	24.10	23	0.95
7	18G	0	100	4	0.6	0.48	8.73	10.39	26.16	35	1.34
7	18H	0	100	4	0.6	0.59	8.73	10.39	27.09	39	1.44
7	18I	0	100	4	0.6	0.61	8.73	10.39	25.91	10	0.39
7	18J	0	100	4	0.6	0.58	8.73	10.39	25.60	24	0.94
7	18K	0	100	4	0.6	0.52	8.73	10.39	25.55	17	0.67
7	23G	0	100	4	0.6	0.55	8.38	11.75	29.32	25	0.85
7	23H	0	100	4	0.6	0.57	8.38	11.75	27.98	34	1.22
7	23I	0	100	4	0.6	0.57	8.38	11.75	27.64	21	0.76
7	23J	0	100	4	0.6	0.57	8.38	11.75	28.83	25	0.87
7	23K	0	100	4	0.6	0.57	8.38	11.75	28.56	19	0.67
7	53G	0	100	4	0.6	0.53	8.66	10.52	25.15	18	0.72
7	53H	0	100	4	0.6	0.58	8.66	10.52	25.20	17	0.67
7	53I	0	100	4	0.6	0.63	8.66	10.52	25.40	33	1.30
7	53J	0	100	4	0.6	0.60	8.66	10.52	25.45	119	4.68
8	5J	0	100	8	0.6	0.63	8.39	11.19	25.70	68	2.65
8	5K	0	100	8	0.6	0.56	8.39	11.19	25.55	27	1.06
8	35G	0	100	8	0.6	0.55	9	11.45	29.65	81	2.73
8	35H	0	100	8	0.6	0.59	9	11.45	28.99	85	2.93
8	35I	0	100	8	0.6	0.64	9	11.45	28.41	44	1.55
8	35J	0	100	8	0.6	0.63	9	11.45	28.57	31	1.09
8	35K	0	100	8	0.6	0.52	9	11.45	28.67	40	1.40
8	45G	0	100	8	0.6	0.53	8.54	11.68	25.15	50	1.99
8	45H	0	100	8	0.6	0.57	8.54	11.68	25.60	65	2.54
8	45I	0	100	8	0.6	0.60	8.54	11.68	24.40	61	2.50
8	45J	0	100	8	0.6	0.55	8.54	11.68	24.30	60	2.47
8	45K	0	100	8	0.6	0.49	8.54	11.68	24.45	35	1.43
9	3G	0	100	12	0.6	0.56	8.37	10.45	27.29	63	2.31
9	3H	0	100	12	0.6	0.62	8.37	10.45	26.37	79	3.00
9	3I	0	100	12	0.6	0.63	8.37	10.45	22.78	104	4.56
9	3J	0	100	12	0.6	0.61	8.37	10.45	22.48	5	0.22
9	3K	0	100	12	0.6	0.57	8.37	10.45	23.63	40	1.69
9	33G	0	100	12	0.6	0.54	8.39	11.7	28.62	55	1.92
9	33H	0	100	12	0.6	0.60	8.39	11.7	28.57	21	0.74
9	33I	0	100	12	0.6	0.57	8.39	11.7	28.78	12	0.42
9	33J	0	100	12	0.6	0.61	8.39	11.7	28.73	81	2.82
9	33K	0	100	12	0.6	0.58	8.39	11.7	29.38	101	3.44
9	51G	0	100	12	0.6	0.54	8.28	10.8	24.73	30	1.21
9	51H	0	100	12	0.6	0.59	8.28	10.8	25.50	102	4.00
9	51J	0	100	12	0.6	0.60	8.28	10.8	25.45	34	1.34
9	51K	0	100	12	0.6	0.57	8.28	10.8	25.75	51	1.98
10	6G	0	100	4	0.7	0.60	8.5	9.61	26.99	38	1.41
10	6H	0	100	4	0.7	0.62	8.5	9.61	27.96	35	1.25
10	6I	0	100	4	0.7	0.72	8.5	9.61	28.94	69	2.38

TABELA 14. Continuação...											
10	6J	0	100	4	0.7	0.72	8.5	9.61	28.33	39	1.38
10	6K	0	100	4	0.7	0.62	8.5	9.61	28.94	10	0.35
10	29G	0	100	4	0.7	0.60	8.3	11.3	29.35	5	0.17
10	29H	0	100	4	0.7	0.67	8.3	11.3	28.66	8	0.28
10	29I	0	100	4	0.7	0.64	8.3	11.3	27.51	17	0.62
10	29J	0	100	4	0.7	0.64	8.3	11.3	26.83	23	0.86
10	29K	0	100	4	0.7	0.61	8.3	11.3	27.59	31	1.12
10	40G	0	100	4	0.7	0.60	8.19	9.83	28.39	19	0.67
10	40H	0	100	4	0.7	0.66	8.19	9.83	28.41	22	0.77
10	40I	0	100	4	0.7	0.68	8.19	9.83	28.89	51	1.77
10	40J	0	100	4	0.7	0.63	8.19	9.83	29.37	10	0.34
10	40K	0	100	4	0.7	0.59	8.19	9.83	28.62	11	0.38
11	13G	0	100	8	0.7	0.62	8.63	10.84	28.68	18	0.63
11	13H	0	100	8	0.7	0.71	8.63	10.84	28.35	56	1.98
11	13I	0	100	8	0.7	0.68	8.63	10.84	26.42	43	1.63
11	13J	0	100	8	0.7	0.66	8.63	10.84	28.62	33	1.15
11	13K	0	100	8	0.7	0.58	8.63	10.84	29.48	73	2.48
11	24G	0	100	8	0.7	0.59	8.26	12.2	28.35	62	2.19
11	24H	0	100	8	0.7	0.70	8.26	12.2	28.39	63	2.22
11	24I	0	100	8	0.7	0.68	8.26	12.2	29.81	68	2.28
11	24J	0	100	8	0.7	0.63	8.26	12.2	28.36	63	2.22
11	24K	0	100	8	0.7	0.62	8.26	12.2	28.89	77	2.67
11	50H	0	100	8	0.7	0.71	8.48	9.6	24.30	27	1.11
11	50I	0	100	8	0.7	0.68	8.48	9.6	25.20	5	0.20
11	50J	0	100	8	0.7	0.72	8.48	9.6	24.69	14	0.57
11	50K	0	100	8	0.7	0.65	8.48	9.6	25.05	47	1.88
12	17H	0	100	12	0.7	0.65	8.15	12.16	25.59	perd.	
12	17I	0	100	12	0.7	0.64	8.15	12.16	25.60	47	1.84
12	17J	0	100	12	0.7	0.65	8.15	12.16	25.55	34	1.33
12	17K	0	100	12	0.7	0.59	8.15	12.16	25.55	31	1.21
12	34G	0	100	12	0.7	0.66	8.43	11.13	28.09	80	2.85
12	34H	0	100	12	0.7	0.74	8.43	11.13	27.08	70	2.58
12	34I	0	100	12	0.7	0.73	8.43	11.13	29.20	72	2.47
12	34J	0	100	12	0.7	0.71	8.43	11.13	29.14	59	2.02
12	34K	0	100	12	0.7	0.60	8.43	11.13	29.11	100	3.44
12	46G	0	100	12	0.7	0.61	8.5	11.62	26.63	67	2.52
12	46H	0	100	12	0.7	0.68	8.5	11.62	26.26	30	1.14
12	46I	0	100	12	0.7	0.63	8.5	11.62	26.52	60	2.26
12	46J	0	100	12	0.7	0.61	8.5	11.62	30.08	78	2.59
12	46K	0	100	12	0.7	0.66	8.5	11.62	26.47	79	2.98
13	9G	50	50	4	0.6	0.60	9.1	9.95	29.45	41	1.39
13	9H	50	50	4	0.6	0.62	9.1	9.95	27.98	28	1.00
13	9I	50	50	4	0.6	0.57	9.1	9.95	29.42	32	1.09
13	9J	50	50	4	0.6	0.54	9.1	9.95	28.12	38	1.35
13	9K	50	50	4	0.6	0.48	9.1	9.95	28.83	8	0.28

TABELA 14. Continuação...

13	36G	50	50	4	0.6	0.54	8.54	11.6	28.46	12	0.42
13	36H	50	50	4	0.6	0.61	8.54	11.6	28.50	30	1.05
13	36I	50	50	4	0.6	0.56	8.54	11.6	29.16	6	0.21
13	36K	50	50	4	0.6	0.53	8.54	11.6	27.46	48	1.75
13	47G	50	50	4	0.6	0.46	9.4	10.61	25.44	11	0.43
13	47H	50	50	4	0.6	0.58	9.4	10.61	25.05	42	1.68
13	47I	50	50	4	0.6	0.58	9.4	10.61	25.15	19	0.76
13	47J	50	50	4	0.6	0.51	9.4	10.61	25.95	106	4.08
13	47K	50	50	4	0.6	0.56	9.4	10.61	26.06	100	3.84
14	14H	50	50	8	0.6	0.58	8.74	9.91	29.56	5	0.17
14	14I	50	50	8	0.6	0.59	8.74	9.91	30.03	47	1.57
14	14J	50	50	8	0.6	0.58	8.74	9.91	29.41	50	1.70
14	14K	50	50	8	0.6	0.56	8.74	9.91	29.05	47	1.62
14	26G	50	50	8	0.6	0.65	9.13	11	28.89	29	1.00
14	26H	50	50	8	0.6	0.61	9.13	11	30.14	27	0.90
14	26I	50	50	8	0.6	0.51	9.13	11	29.32	perd.	
14	26J	50	50	8	0.6	0.53	9.13	11	29.70	29	0.98
14	26K	50	50	8	0.6	0.46	9.13	11	28.67	33	1.15
14	41G	50	50	8	0.6	0.51	8.99	12.5	29.96	31	1.03
14	41H	50	50	8	0.6	0.54	8.99	12.5	28.77	27	0.94
14	41I	50	50	8	0.6	0.59	8.99	12.5	29.03	29	1.00
14	41J	50	50	8	0.6	0.58	8.99	12.5	28.91	38	1.31
14	41K	50	50	8	0.6	0.52	8.99	12.5	28.01	48	1.71
15	8G	50	50	12	0.6	0.51	8.5	11.14	28.14	59	2.10
15	8H	50	50	12	0.6	0.59	8.5	11.14	27.35	83	3.03
15	8I	50	50	12	0.6	0.61	8.5	11.14	26.67	47	1.76
15	8J	50	50	12	0.6	0.60	8.5	11.14	27.98	76	2.72
15	8K	50	50	12	0.6	0.58	8.5	11.14	28.41	19	0.67
15	21G	50	50	12	0.6	0.49	9.13	11	28.13	48	1.71
15	21I	50	50	12	0.6	0.59	9.13	11	28.50	101	3.54
15	21J	50	50	12	0.6	0.59	9.13	11	29.02	10	0.34
15	21K	50	50	12	0.6	0.54	9.13	11	29.99	110	3.67
15	54G	50	50	12	0.6	0.61	8.75	11.72	25.40	113	4.45
15	54H	50	50	12	0.6	0.62	8.75	11.72	26.86	77	2.87
15	54I	50	50	12	0.6	0.60	8.75	11.72	27.46	84	3.06
15	54J	50	50	12	0.6	0.59	8.75	11.72	27.40	37	1.35
15	54K	50	50	12	0.6	0.57	8.75	11.72	27.56	78	2.83
16	15H	50	50	4	0.7	0.66	8.75	12.5	29.56	37	1.25
16	15I	50	50	4	0.7	0.61	8.75	12.5	30.03	74	2.46
16	15J	50	50	4	0.7	0.60	8.75	12.5	29.41	46	1.56
16	15K	50	50	4	0.7	0.57	8.75	12.5	29.05	34	1.17
16	27G	50	50	4	0.7	0.68	8.77	10.6	30.41	26	0.85
16	27H	50	50	4	0.7	0.66	8.77	10.6	27.87	5	0.18
16	27I	50	50	4	0.7	0.66	8.77	10.6	27.56	13	0.47
16	27J	50	50	4	0.7	0.64	8.77	10.6	27.77	10	0.36

TABELA 14. Continuação...											
16	27K	50	50	4	0.7	0.58	8.77	10.6	26.88	11	0.41
16	38G	50	50	4	0.7	0.69	9.04	10.1	25.04	26	1.04
16	38H	50	50	4	0.7	0.60	9.04	10.1	27.19	20	0.74
16	38I	50	50	4	0.7	0.65	9.04	10.1	26.27	34	1.29
16	38J	50	50	4	0.7	0.65	9.04	10.1	25.55	23	0.90
16	38K	50	50	4	0.7	0.59	9.04	10.1	24.16	45	1.86
17	11G	50	50	8	0.7	0.61	9.03	12.5	24.25	47	1.94
17	11H	50	50	8	0.7	0.68	9.03	12.5	24.45	62	2.54
17	11I	50	50	8	0.7	0.70	9.03	12.5	24.75	71	2.87
17	11J	50	50	8	0.7	0.73	9.03	12.5	25.20	59	2.34
17	31G	50	50	8	0.7	0.65	8.4	11.7	27.88	74	2.65
17	31H	50	50	8	0.7	0.68	8.4	11.7	27.77	78	2.81
17	31I	50	50	8	0.7	0.69	8.4	11.7	27.30	55	2.01
17	31J	50	50	8	0.7	0.70	8.4	11.7	27.72	45	1.62
17	31K	50	50	8	0.7	0.61	8.4	11.7	28.20	66	2.34
17	44G	50	50	8	0.7	0.58	8.95	12.5	26.21	43	1.64
17	44H	50	50	8	0.7	0.66	8.95	12.5	26.36	82	3.11
17	44I	50	50	8	0.7	0.70	8.95	12.5	24.60	26	1.06
17	44K	50	50	8	0.7	0.63	8.95	12.5	25.25	25	0.99
18	10G	50	50	12	0.7	0.62	8.5	9.83	29.38	39	1.33
18	10H	50	50	12	0.7	0.60	8.5	9.83	28.14	50	1.78
18	10I	50	50	12	0.7	0.71	8.5	9.83	28.73	115	4.00
18	10J	50	50	12	0.7	0.69	8.5	9.83	26.21	99	3.78
18	10K	50	50	12	0.7	0.64	8.5	9.83	27.50	64	2.33
18	22G	50	50	12	0.7	0.59	8.23	10.63	27.98	8	0.29
18	22H	50	50	12	0.7	0.59	8.23	10.63	27.98	5	0.18
18	22I	50	50	12	0.7	0.56	8.23	10.63	27.93	57	2.04
18	22J	50	50	12	0.7	0.57	8.23	10.63	28.24	52	1.84
18	22K	50	50	12	0.7	0.58	8.23	10.63	29.85	71	2.38
18	52G	50	50	12	0.7	0.60	8.3	12.5	26.01	103	3.96
18	52H	50	50	12	0.7	0.68	8.3	12.5	25.96	67	2.58
18	52I	50	50	12	0.7	0.71	8.3	12.5	26.06	67	2.57
18	52J	50	50	12	0.7	0.68	8.3	12.5	25.81	83	3.22
18	52K	50	50	12	0.7	0.67	8.3	12.5	25.30	78	3.08

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm^3); Do= densidade observada (g/cm^3); Tue= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); LI= ligação interna (kgf/cm^2)

ANEXO 3 - Valores verificados e utilizados para análise das propriedades físicas das chapas: Ab e IE.

TABELA 15. Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas das chapas (Ab e IE)

Trat.	CP	Serr. (%)	Marav. (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Ab 2h (%)	Ab 24 h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
1	4F	100	0	4	0.6	0.54	18.16	88.49	9.77	33.71
1	19E	100	0	4	0.6	0.58	19.92	80.46	7.64	37.05
1	19F	100	0	4	0.6	0.58	18.44	72.73	6.18	36.53
1	37E	100	0	4	0.6	0.64	23.17	96.75	9.18	41.09
1	37F	100	0	4	0.6	0.56	29.75	91.78	12.48	35.65
2	12E	100	0	8	0.6	0.65	18.10	57.71	5.81	27.30
2	12F	100	0	8	0.6	0.66	20.57	76.16	7.00	26.53
2	30E	100	0	8	0.6	0.66	22.80	86.73	8.76	30.96
2	30F	100	0	8	0.6	0.58	25.13	87.17	6.60	24.85
2	43E	100	0	8	0.6	0.62	21.00	66.67	8.14	20.94
2	43F	100	0	8	0.6	0.56	25.23	79.56	5.66	23.91
3	1E	100	0	12	0.6	0.63	37.80	82.83	11.57	29.66
3	1F	100	0	12	0.6	0.55	33.97	91.26	10.59	22.64
3	28E	100	0	12	0.6	0.54	40.96	97.65	7.97	22.03
3	28F	100	0	12	0.6	0.55	34.18	98.40	7.85	22.42
3	48E	100	0	12	0.6	0.54	36.62	102.58	6.28	20.06
3	48F	100	0	12	0.6	0.56	25.87	72.39	6.88	24.25
4	16E	100	0	4	0.7	0.68	29.00	86.67	10.02	42.19
4	16F	100	0	4	0.7	0.69	24.60	97.53	7.32	43.84
4	32E	100	0	4	0.7	0.64	20.02	80.35	8.39	35.42
4	32F	100	0	4	0.7	0.59	23.34	74.90	11.52	36.71
4	39E	100	0	4	0.7	0.67	2.80	89.66	7.10	43.67
4	39F	100	0	4	0.7	0.66	20.16	75.36	5.96	38.43
5	2E	100	0	8	0.7	0.69	43.51	95.95	13.93	37.92
5	2F	100	0	8	0.7	0.64	35.48	83.00	10.29	35.25
5	25E	100	0	8	0.7	0.49	37.57	97.01	14.12	17.29
5	25F	100	0	8	0.7	0.51	44.03	106.35	8.01	18.61
5	42E	100	0	8	0.7	0.65	25.54	79.92	13.23	32.23
5	42F	100	0	8	0.7	0.66	21.22	79.73	6.75	30.73
6	7E	100	0	12	0.7	0.51	49.35	89.24	14.57	27.60
6	7F	100	0	12	0.7	0.59	40.09	83.04	13.39	29.80
6	20E	100	0	12	0.7	0.62	19.80	76.16	5.30	29.00
6	20F	100	0	12	0.7	0.67	21.22	59.62	6.57	34.34
6	49E	100	0	12	0.7	0.68	21.79	68.72	6.19	31.66
6	49F	100	0	12	0.7	0.61	22.38	82.45	6.59	28.46
7	18E	0	100	4	0.6	0.53	14.44	83.69	2.79	19.13
7	18F	0	100	4	0.6	0.56	12.47	69.51	2.37	17.88
7	23E	0	100	4	0.6	0.56	20.65	91.44	6.85	27.91
7	23F	0	100	4	0.6	0.55	17.02	78.39	4.94	22.77

TABELA 15.
Continuação...

7	53E	0	100	4	0.6	0.56	14.29	75.43	2.28	20.96
7	53F	0	100	4	0.6	0.57	14.70	85.62	2.91	23.27
8	5E	0	100	8	0.6	0.57	39.63	65.12	2.74	12.72
8	5F	0	100	8	0.6	0.61	12.04	55.56	2.52	14.26
8	35E	0	100	8	0.6	0.56	14.36	62.28	5.03	15.79
8	35F	0	100	8	0.6	0.59	11.85	57.25	3.07	17.51
8	45E	0	100	8	0.6	0.55	11.33	68.93	2.29	13.02
9	3E	0	100	12	0.6	0.60	14.03	47.87	2.11	10.53
9	3F	0	100	12	0.6	0.62	12.96	50.09	3.75	15.67
9	33E	0	100	12	0.6	0.56	13.64	53.03	3.52	15.44
9	51E	0	100	12	0.6	0.59	15.21	53.47	1.39	9.27
9	51F	0	100	12	0.6	0.69	12.71	55.45	2.44	14.59
10	6E	0	100	4	0.7	0.62	14.47	90.18	5.29	29.08
10	6F	0	100	4	0.7	0.66	17.07	83.60	6.42	31.35
10	29E	0	100	4	0.7	0.64	18.60	78.87	4.49	29.57
10	29F	0	100	4	0.7	0.64	17.96	75.73	3.68	31.45
10	40F	0	100	4	0.7	0.66	16.51	88.92	5.90	37.84
11	13E	0	100	8	0.7	0.62	13.21	55.94	3.34	19.13
11	13F	0	100	8	0.7	0.61	10.45	54.28	3.58	19.98
11	24E	0	100	8	0.7	0.61	12.88	54.79	4.62	17.84
11	24F	0	100	8	0.7	0.67	10.62	48.28	3.40	18.12
11	50E	0	100	8	0.7	0.63	11.39	70.32	3.54	21.46
11	50F	0	100	8	0.7	0.69	11.67	69.93	3.80	32.41
12	17E	0	100	12	0.7	0.61	9.57	40.13	1.60	8.81
12	17F	0	100	12	0.7	0.64	10.09	42.87	3.47	11.43
12	34E	0	100	12	0.7	0.63	12.53	47.47	3.25	15.10
12	34F	0	100	12	0.7	0.70	10.83	43.73	3.73	15.03
12	46E	0	100	12	0.7	0.64	11.22	55.55	2.54	17.16
12	46F	0	100	12	0.7	0.71	11.42	56.47	3.06	17.68
13	9E	50	50	4	0.6	0.60	17.52	84.83	6.87	38.22
13	9F	50	50	4	0.6	0.59	21.06	99.38	9.74	39.69
13	36E	50	50	4	0.6	0.59	17.80	74.32	8.10	33.88
13	36F	50	50	4	0.6	0.56	21.62	94.74	6.00	32.16
13	47E	50	50	4	0.6	0.59	16.66	89.19	11.94	39.56
13	47F	50	50	4	0.6	0.58	17.77	89.22	4.89	36.86
14	14E	50	50	8	0.6	0.58	15.24	69.37	6.54	25.29
14	14F	50	50	8	0.6	0.61	19.24	82.28	8.22	27.98
14	26E	50	50	8	0.6	0.61	14.60	64.88	3.49	32.34
14	26F	50	50	8	0.6	0.61	18.96	77.06	8.66	26.03
14	41E	50	50	8	0.6	0.55	18.68	73.03	9.56	26.19
14	41F	50	50	8	0.6	0.57	19.41	81.17	6.37	23.42
15	8E	50	50	12	0.6	0.55	20.97	69.66	5.38	21.45
15	8F	50	50	12	0.6	0.60	28.35	76.40	5.27	24.64
15	21E	50	50	12	0.6	0.60	20.13	81.83	4.94	22.58
15	21F	50	50	12	0.6	0.59	16.62	74.94	6.40	25.03

TABELA 15.
Continuação...

15	54E	50	50	12	0.6	0.63	15.49	48.14	1.92	10.50
16	15E	50	50	4	0.7	0.69	15.02	87.38	3.74	35.60
16	15F	50	50	4	0.7	0.71	13.89	79.74	6.31	39.41
16	27E	50	50	4	0.7	0.65	18.39	99.74	7.98	51.32
16	27F	50	50	4	0.7	0.67	19.74	105.46	5.70	45.24
16	38E	50	50	4	0.7	0.67	17.82	86.75	6.69	39.87
16	38F	50	50	4	0.7	0.60	39.59	92.70	7.74	36.88
17	11E	50	50	8	0.7	0.62	19.40	102.86	1.88	25.26
17	11F	50	50	8	0.7	0.71	18.81	102.33	5.61	37.43
17	31E	50	50	8	0.7	0.70	14.47	68.28	2.97	26.72
17	31F	50	50	8	0.7	0.66	14.20	64.17	7.56	31.39
17	44E	50	50	8	0.7	0.64	13.63	65.08	5.78	30.09
17	44F	50	50	8	0.7	0.70	12.52	69.68	3.49	30.53
18	10E	50	50	12	0.7	0.51	16.94	62.67	6.20	23.88
18	10F	50	50	12	0.7	0.64	17.86	62.58	4.87	24.81
18	22E	50	50	12	0.7	0.58	28.40	66.46	5.83	22.98
18	22F	50	50	12	0.7	0.61	18.74	69.35	6.81	24.65
18	52E	50	50	12	0.7	0.69	10.53	40.60	5.05	13.37
18	52F	50	50	12	0.7	0.65	10.53	38.12	2.71	12.91

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm^3); Do= densidade observada (g/cm^3); Tue= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); Ab24= absorção em peso-24 horas de imersão; IE24= inchamento em espessura-24 horas de imersão

ANEXO 4 - Valores médios verificados e utilizados para análise das propriedades físicas e mecânicas

TABELA 16. Valores médios das propriedades físicas e mecânicas encontrados para os diferentes tratamentos

Trat.	Serragem (%)	Maravalha (%)	Ta (%)	Dn (g/cm ³)	Do (g/cm ³)	Tue (%)	Tuc (%)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	AP (kgf)	LI (kgf/cm ²)	I24 (%)	Abs24 (%)
1	100	0	4	0,6	0,54	9,29	10,94	51,63	5330,37	47,3	1,37	35,49	84,2
2	100	0	8	0,6	0,58	9,03	11,19	65,65	6635,76	60,83	2,08	25,75	75,67
3	100	0	12	0,6	0,56	9,22	11,33	78,28	5999,27	60,5	1,77	23,5	90,85
4	100	0	4	0,7	0,65	9,23	12,17	86,78	6247,37	68	1,76	40,04	84,08
5	100	0	8	0,7	0,6	9,26	11,27	83,26	6690,35	57,33	1,89	28,67	90,33
6	100	0	12	0,7	0,6	8,75	11,61	89,68	6283,72	60,17	1,88	30,14	76,54
7	0	100	4	0,6	0,57	8,59	10,89	87,62	7664,8	47	0,92	21,99	80,68
8	0	100	8	0,6	0,57	8,64	11,44	91,99	10710,7	54,83	2,07	14,55	64,56
9	0	100	12	0,6	0,59	8,35	10,98	70,13	10786	62,33	2,26	13,36	53,26
10	0	100	4	0,7	0,65	8,33	10,25	62,88	10427,8	62,5	0,92	32,59	86,22
11	0	100	8	0,7	0,65	8,46	10,88	96,11	11825,6	75,33	1,65	21,49	58,93
12	0	100	12	0,7	0,66	8,36	11,64	75,06	12070,8	76,33	2,16	14,2	47,7
13	50	50	4	0,6	0,56	9,02	10,72	71,62	5887,7	49,67	0,93	36,73	88,61
14	50	50	8	0,6	0,57	8,95	11,14	81,87	7146,86	45,5	1,18	26,88	74,63
15	50	50	12	0,6	0,59	8,79	11,29	95,17	10728	68,17	2,29	19,39	66,44
16	50	50	4	0,7	0,64	8,85	11,07	65,43	8528,38	59,67	1,02	41,39	91,96
17	50	50	8	0,7	0,66	8,79	12,23	76,52	7709,47	73,67	1,99	30,24	78,73
18	50	50	12	0,7	0,64	8,34	11,71	99,16	11796,7	70	2,36	20,43	56,63

Onde: Ta= teor de adesivo (%); Dn= densidade nominal (g/cm³); Do= densidade observada (g/cm³); Tue= teor de umidade de equilíbrio (%); Tuc= teor de umidade do colchão (%); MOR= módulo de ruptura (kgf/cm²); MOE= módulo de elasticidade (kgf/cm²); AP= resistência ao arrancamento de parafusos; LI= ligação interna; Ab24= absorção em peso-24 horas de imersão; IE24= inchamento em espessura-24 horas de imersão

ANEXO 5 - Análise de variância da regressão**TABELA 17. Análise de variância da regressão para MOR**

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	29325,6	3	9775,22	26,04	0.000
Resíduo	38662,5	103	375,364		
Total	67988,1	106			

TABELA 18. Análise de variância da regressão para MOE

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	5,7007	3	1,90023	44,17	0.0000
Resíduo	4,60297	107	4,30184		
Total	10,3037	111			

TABELA 19. Análise de variância da regressão para LI

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	45,2441	2	22,6221	29,15	0.0000
Resíduo	201,757	260	0,775989		
Total	247,001	262			

TABELA 20. Análise de variância da regressão para AP

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	8731,42	2	4365,71	30,27	0.0000
Resíduo	14276,6	99	144,208		
Total	23008	101			

TABELA 21. Análise de variância da regressão para Ab-24 h

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	15080,9	3	5026,98	35,68	0.0000
Resíduo	14654,2	104	140,906		
Total		107			

TABELA 22. Análise de variância da regressão para IE-24 h

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	6664,49	3	2221,5	88,89	0.0000
Resíduo	2374,09	95	24,9904		
Total		98			

ANEXO 6.- Valores de coeficiente de variação para as propriedades físicas e mecânicas

TABELA 23. Valores de coeficiente de variação (CV%) das propriedades físicas e mecânicas encontrados para os diferentes tratamentos

Trat.	MOR CV (%)	MOE CV (%)	AP CV (%)	LI CV (%)	I24 CV (%)	Abs24 CV (%)
1	43,16	37,75	33,55	51,07	11,37	11,44
2	9,16	27,51	24,9	41,32	13,16	15,34
3	17,77	33,45	15,25	60,53	14,03	12,51
4	40,24	36,81	23,68	53,83	9,16	10,54
5	32,6	27,28	35,53	59,63	30,27	12,2
6	11,71	27,21	20,36	49,45	8,21	14,14
7	22,83	32,23	22,44	110,83	16,19	9,7
8	35,92	30,59	31,5	38,66	12,43	12,86
9	27,05	8,36	16,36	61,33	20,49	7,72
10	37,1	21,33	34	68,51	11,07	10,17
11	30,46	37,4	22,8	46,02	25,64	15,4
12	33,63	27,47	13,01	34,89	24,23	14,38
13	40,77	27,71	16,41	126	8,44	9,74
14	21,98	18,62	41,83	35,18	11,37	9,14
15	34,59	17,88	26,01	55,35	33,08	22,39
16	20,65	37,93	38,39	59,96	14,23	10,21
17	11,81	15,12	12,46	38,76	14,05	23,62
18	28,66	15,45	20,02	49,95	27,84	24,08

Onde: MOR= módulo de ruptura (kgf/cm^2); MOE= módulo de elasticidade (kgf/cm^2); AP= resistência ao arrancamento de parafusos; LI= ligação interna; IE24= inchamento em espessura-24 horas de imersão; Ab24= absorção em peso-24 horas de imersão; CV= coeficiente de variação em percentagem.