

EDVÁ OLIVEIRA BRITO

**PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS
DE MADEIRA A PARTIR DE MARAVALHAS
DE *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii*
PLANTADO NO SUL DO BRASIL**

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Doutor. Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, Setor
de Ciências Agrárias, Universidade Federal
do Paraná.

CURITIBA
1995



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de Doutorado, apresentada pelo candidato **EDVÁ OLIVEIRA BRITO**, sob o título "**PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA A PARTIR DE MARAVALHAS DE *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* PLANTADO NO SUL DO BRASIL**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais no Curso de pós-graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese, com média final: (7,51), correspondente ao conceito: (**B**).

Curitiba, 01 de dezembro de 1995

Pesq. PhD. Mario Rabelo de Souza
Primeiro Examinador

Prof. Dr. Hernando Alfonso Lara Palma
Segundo Examinador

Prof. Dra. Graziela Ines Bolzon de Muniz
Terceira Examinadora

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Quarto Examinador

Prof. PhD. Sidon Keinert Junior
Orientador e Presidente da Banca

Aos meus pais EVANI e JURACI
pelo incansável estímulo e apoio

Aos meus irmãos Edno, Elda e Elba
pela amizade sincera

Ao Diego, Ana Carolina, Fernanda e Rafael

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Sidon Keinert Junior, pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao professor co-orientador Dr. Ivan Tomaselli, pelas sugestões apresentadas.

À Coordenação do Curso de pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela aceitação no referido curso.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo apoio recebido.

À Empresa Forex nas pessoas dos engenheiros Wander e Marcelo.

Aos amigos Paulo Pires, Carlos Rosas, Patricia, Vilmar, Jorge Matos, Setsuo, Verônica, Tuca, Lurdinha, Bucci, Fayet, Elias, Santini, Rincoski, Paulo Cesar, Gabriel, Délia, Randolpho, Décio, Afonso, Paulo Tarso, Sebastião, Ronaldo, Dirce, Nabor, Geraldo, Cleverson, Fernando, Arimatéia, Doadi, Armin, Inge, João Vicente, Irauadi, Versides, Jacó, Claudete, Claudia, Ana Lucia, Graciela, Geraldo, Guadalupe, Ana Mozer, Humberto, Helton, Maisa, Maria Juraci, Sandra, Cleuza, Verônica Reis.

Aos funcionários do curso Ademir, Ricardo e Vitor.

A todos aqueles que emprestaram a sua amizade durante a realização do curso.

BIOGRAFIA

EDVÁ OLIVEIRA BRITO, filho de Evani Bonfim de Brito e Juraci de Oliveira Brito, nasceu em Frutal, Estado de Minas Gerais, em 03 de abril de 1957.

Realizou os estudos de primeiro grau (primário e ginásio) respectivamente, no Grupo Escolar Gomes da Silva em Frutal-MG e no Instituto de Educação Estadual "Francisco Marques Pinto" em Nova Granada-SP. Nesta última Instituição também cursou o segundo grau.

Iniciou os estudos de graduação em março de 1977, no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, vindo a receber o grau de Engenheiro Florestal em janeiro de 1981.

Em março de 1981 iniciou o curso de pós-graduação em Ciências Florestais na Universidade Federal de Viçosa-MG, a nível de Mestrado, sendo transferido em julho do mesmo ano para o curso de pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, onde concluiu o curso em setembro de 1984.

Em abril de 1984 foi contratado como professor visitante pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Após concurso público passou a professor assistente I em janeiro de 1985. Atualmente é professor assistente IV nesta mesma Instituição.

O curso de pós-graduação a nível de doutorado teve início em março de 1990 no curso de pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3.1 HISTÓRICO SOBRE A INDÚSTRIA DE CHAPAS DE PARTÍCULAS.....	4
3.2 MATÉRIA-PRIMA.....	10
3.2.1 Dimensão das partículas.....	12
3.2.2 Umidade das partículas.....	14
3.2.2.1 Problemas na prensagem devido à umidade das partículas.....	16
3.3 PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA.....	18
3.3.1 Resistência mecânica.....	18
3.3.2 Resistência à absorção de água e estabilidade dimensional.....	21
3.4 APLICAÇÃO DE PARAFINA.....	23
3.5 CONDIÇÕES DE PRENSAGEM.....	24
3.6 GRADIENTE DE DENSIDADE.....	26
3.7 REVESTIMENTO DAS CHAPAS.....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA.....	28
4.2 COLETA DO MATERIAL.....	28
4.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	29
4.4 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	29
4.4.1 Experimento preliminar.....	30
4.4.2 Experimento principal.....	30

4.4.3 Experimento complementar.....	31
4.5 DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DAS CHAPAS.....	31
4.5.1 Massa de partículas.....	31
4.5.2 Quantidade de adesivo.....	32
4.5.3 Quantidade de catalisador.....	33
4.5.4 Quantidade de parafina.....	33
4.6 CLASSIFICAÇÃO DAS MARAVALHAS.....	34
4.7 PREPARAÇÃO DAS MARAVALHAS.....	36
4.8 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.....	35
4.9 PREPARAÇÃO DO ADESIVO.....	35
4.9.1 Determinação do teor de sólidos do adesivo e da emulsão de parafina.....	35
4.9.2 Determinação da viscosidade.....	36
4.9.3 Determinação do pH.....	36
4.9.4 Tempo de formação de gel.....	36
4.10 APLICAÇÃO DE ADESIVO.....	36
4.11 PREPARAÇÃO DO COLCHÃO DE PARTÍCULAS.....	37
4.12 PRENSAGEM.....	37
4.13 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	42
4.14 ENSAIOS.....	42
4.14.1 Experimento preliminar.....	44
4.14.2 Experimento principal.....	44
4.14.3 Experimento complementar.....	45
4.14.4 Determinação da densidade.....	45
4.14.5 Gradiente de densidade.....	48
4.15 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47
4.15.1 Experimento preliminar.....	47
4.15.2 Experimento principal.....	48
4.15.3 Experimento complementar.....	50

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 ENSAIO PRELIMINAR.....	51
5.2 ENSAIO PRINCIPAL.....	54
5.2.1 Ensaio de flexão estática e ligação interna.....	54
5.2.2 Resistência ao arrancamento de parafuso	67
5.2.3 Resistência ao arrancamento de prego	75
5.2.4 Absorção de água e inchamento em espessura.....	81
5.2.4.1 Comparação entre a absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão.....	89
5.2.5 Gradiente de densidade.....	91
5.2.5.1 Superfície 1.....	95
5.2.5.2 Superfície 2.....	100
5.3 ENSAIOS COMPLEMENTARES.....	103
6 CONCLUSÕES	105
7 RECOMENDAÇÕES	109
ANEXO	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	PRÉ-PRENSAGEM DO COLCHÃO DE PARTÍCULAS.....	38
2	COLCHÃO DE PARTÍCULAS COM ESPAÇADORES PRONTO PARA A PRENSAGEM.....	39
3	DETALHE DA SUPERFÍCIE DAS CHAPAS DE MARAVALHAS "IN NATURA".....	40
4	ACONDICIONAMENTO DAS CHAPAS DE MARAVALHAS NA SALA DE CLIMATIZAÇÃO.....	41
5	ACONDICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA NA SALA DE CLIMATIZAÇÃO.....	43
6	INFLUÊNCIA DA PARAFINA SOBRE: a) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO LONGITUDINAL, b) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO TRANSVERSAL, c) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO LONGITUDINAL	58
7	INFLUÊNCIA DE PARAFINA SOBRE: a) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO TRANSVERSAL, b) LIGAÇÃO INTERNA.....	59
8	INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PRENSAGEM SOBRE: a) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO LONGITUDINAL, b) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO TRANSVERSAL, c) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO LONGITUDINAL, d) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO TRANSVERSAL, e) LIGAÇÃO INTERNA.....	61
9	INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE: a) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO LONGITUDINAL, b) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO TRANSVERSAL, c) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO LONGITUDINAL, d) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO TRANSVERSAL.....	64

10 INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE A LIGAÇÃO INTERNA.: a) TRATAMENTOS COM 12 MINUTOS DE Prensagem, b) TRATAMENTOS COM 8 E 12 MINUTOS DE Prensagem.....	65
11 INFLUÊNCIA DA PARAFINA SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE LONGITUDINAL, c) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE TRANSVERSAL.....	69
12 INFLUÊNCIA DO TEMPO DE Prensagem SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE LONGITUDINAL, c) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE TRANSVERSAL.....	71
13 INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NORMAL À FACE, b)RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE TRANSVERSAL, c) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE LONGITUDINAL.....	73
14 INFLUÊNCIA DE PARAFINA SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO LATERAL.....	77
15 INFLUÊNCIA DO TEMPO DE Prensagem SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO LATERAL.....	78

16 INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE: a) TRATAMENTOS COM 12 MINUTOS DE PRENSAGEM, b) TRATAMENTOS COM 8 E 12 MINUTOS DE PRENSAGEM.....	80
17 INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO LATERAL: a) TRATAMENTOS COM 12 MINUTOS DE PRENSAGEM, b) TRATAMENTOS COM 8 E 12 MINUTOS DE PRENSAGEM.....	80
18 INFLUÊNCIA DE PARAFINA SOBRE: a) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, b) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO, c) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, d) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO.....	84
19 INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PRENSAGEM SOBRE: a) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, b) ABSORÇÃO DE ÁGUA EXPRESSA EM PESO APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO, c) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, d) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO.....	86
20 INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE: a) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, b) ABSORÇÃO DE ÁGUA EXPRESSA EM PESO APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO, c) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, d) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO.....	88
21 GRADIENTE DE DENSIDADE.....	92
22 EFEITO DO TEMPO DE PRENSAGEM NO GRADIENTE DE DENSIDADE.....	93

23 EFEITO DA ADIÇÃO DE PARAFINA NO GRADIENTE DE DENSIDADE.....	94
24 EFEITO DO TEOR DE UMIDADE NO GRADIENTE DE DENSIDADE.....	95

LISTA DE TABELAS

1	VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE MÓDULO DE RUPTURA , MÓDULO DE ELASTICIDADE E LIGAÇÃO INTERNA.....	51
2	VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA E LIGAÇÃO INTERNA	54
3	VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO.....	67
4	VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE E LATERAL.....	75
5	VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO.....	81
6	VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO.....	89
7	VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO.....	90
8	DENSIDADE RELATIVA MÉDIA.....	96
9	DENSIDADE MÉDIA AJUSTADA.....	100
10	RESULTADOS DE ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.....	103

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi produzir chapas de partículas a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* geradas na indústria madeireira, onde são consideradas como resíduos. Na primeira parte do trabalho buscou-se a melhor geometria de maravalhas. Para isto utilizou-se maravalhas na forma original como também processadas em um moinho de martelo utilizando peneiras com as seguintes malhas: 25, 18, 12 e 5,8 mm. Todas as partículas foram passadas em uma peneira de 0,6 mm para a retirada de finos. As variáveis de processamento foram: Umidade de partícula - 3%(base peso seco), conteúdo de adesivo - 10% de uréia-formaldeído (base peso seco), temperatura de prensagem - 170°C, tempo de prensagem 4 minutos, tempo de fechamento da prensa - 50 segundos, densidade da chapa 0,75 g/cm³. Baseado nos ensaios de flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) e ligação interna, observou-se que as chapas produzidas com as partículas mais homogêneas, aquelas que passaram na peneira de 5,8 mm, apresentaram os melhores resultados. A partir daí, produziu-se chapas somente com partículas de 5,8 mm, após retirados os finos, com as mesmas variáveis anteriores incluindo-se mais dois teores de umidade (6% e 9%), dois tempos de prensagem (8 e 12 minutos) e parafina (0% e 1%). Depois de processadas as chapas foram testadas através de ensaios físico-mecânicos que apresentaram os seguintes resultados: 1) A parafina praticamente não teve efeito sobre as propriedades de flexão estática. Em relação à ligação interna a influência da parafina não foi bem definida. Para as propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso e prego os tratamentos sem parafina apresentaram melhores resultados. O efeito da parafina foi altamente significativo na redução da absorção de água e inchamento em espessura, tanto para 2 horas como 24 horas de imersão. 2) O maior teor de umidade de partículas (9%) proporcionou resultados mais altos para o módulo de ruptura, para as demais propriedades estudadas o teor de umidade não teve efeito significativo ou, quando teve, foi de maneira não definida. 3) A resistência à absorção de água diminuiu quando o tempo de imersão foi aumentado de 2 para 24 horas. 4) Comparando-se os tratamentos com e sem parafina, verifica-se que a mesma perdeu eficiência com o aumento no tempo de imersão em água. 5) O revestimento de chapas com lâminas de madeira demonstrou ser positivo no sentido de melhorar as propriedades de resistência à flexão estática no sentido paralelo às fibras, enquanto que o revestimento com papel não apresentou resultados satisfatórios.

ABSTRACT

The objective of this study was to produce particleboards from *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* planer shavings originating from a sawmill. The first objective was to get the best geometry of planer shavings. For this the shavings in their original form were processed in a hammermill with screens of 25, 18, 12 e 5,8 mm. The particles that passed through a screen of 0.6 mm was considered as a too fine and removed from the process. The manufacture variables were: particle moisture content - 3% (oven dry weight), resin content - 10% urea-formaldehyde (oven dry weight), press temperature - 170 °C, press time - 4 minutes, press closing time - 50 seconds, specific gravity 0,75 g/cm³. Based on static bending and internal bond tests it was found that particleboard manufactured with more homogeneous particles, that passed through the 5,8 mm screen showed the best results. Subsequently, particleboards were produced with 5,8 mm particles only, after removing the fines, with the with the same variables as before including two more moisture content (6% and 9%), two pressing time (8 and 12 minutes) and wax (0% and 1%). After manufacture the particleboard properties were determined using physical-mechanical tests and the results were as follow: 1) Wax had practically no effect on static bending properties. The influence of wax on internal bond strength was not well defined. Treatments without wax showed the best results for screw and nail withdrawal. Wax had the effect of reducing very significantly the water absorption and thickness swelling, after both 2 and 24 hours of soaking in water. 2) Higher moisture content provided a higher modulus of rupture, but had no consistent effect on other properties studied. 3) Water absorption decreased when the submersion time was increased from 2 to 24hours. 4) Treatments with wax lost efficiency as the submersion time increased. 5) Layering of panels with wood veneer improved the static bending properties in the direction parallel to the fibres, while paper covering made no improvement to this property.

1 INTRODUÇÃO

As chapas de partículas de madeira foram estudadas e utilizadas com grande intensidade em todas as partes do mundo, principalmente a partir dos anos 60. Os processos de produção, a matéria-prima utilizada (quase que exclusivamente madeira) em variadas formas e geometrias, os aditivos, configuram uma interrelação bastante ampla nas propriedades do produto acabado.

Nos países da América do Norte, os resíduos de coníferas têm sido por longo tempo a matéria-prima principal na confecção de chapas de partículas, respondendo por 76,7% do total de madeira utilizada, dos quais 47,7% são de maravalhas (MOTTET citado por MALONEY, 1977). Por outro lado, nos países Europeus, a matéria-prima dominante tem sido partículas produzidas de madeira em tora, especialmente para este fim, uma vez que a disponibilidade de resíduos da indústria madeireira é bem menor naquela região (MOSLEMI, 1974).

No Brasil, o processo de produção de chapas de partículas dominante, desde os seus primórdios (1966) até os dias atuais, tem sido o processo de formação em multicamadas, com partículas de geometria variada. As chapas produzidas através deste processo são comumente denominadas de aglomerados e a matéria-prima é oriunda de madeira em tora, a qual é transformada em partículas através de um picador e moinho de martelo. A madeira utilizada para a fabricação destas chapas pode ser tanto de coníferas como de folhosas de baixa densidade ou uma mistura destas. Devido à dificuldade cada vez maior de se encontrar madeira de espécies nativas e graças às facilidades apresentadas pela madeira de *Pinus spp* de reflorestamentos, estas têm sido usadas na grande maioria das vezes. Contudo, devido à ampla utilização destas espécies na indústria de papel e mais recentemente na indústria de serraria, os preços dessa matéria-prima tenderão a subir, o que poderá elevar o custo final das chapas de partículas.

A quantidade de resíduos de madeira existente no Brasil, principalmente na região Sul, onde estão concentradas grande parte das indústrias madeireiras nas suas mais variadas formas, é bastante elevada. Apesar do volume que representam, esses resíduos têm sido pouco utilizados e, quando isso ocorre, são na forma de energia. Dentre esses resíduos, as maravalhas de madeira representam uma parcela significativa, apresentam boas características para a produção de chapas de partículas e permitem a sua utilização isolada ou em combinação com outras matérias-primas.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade técnica de utilização de maravalhas como matéria-prima para a fabricação de chapas de partículas homogêneas e revestidas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a melhor geometria de maravalhas;
- Estudar a influência do teor de umidade, da aplicação de parafina e do tempo de prensagem;
- Verificar o efeito de revestimento com lâminas de madeira e papel;
- Comparar os resultados com a norma comercial americana CS 236-66 (NPA);
- Avaliar a influência do gradiente de densidade.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 HISTÓRICO SOBRE A INDÚSTRIA DE CHAPAS DE PARTÍCULAS

A história da indústria de chapas de partículas de madeira produzidas em prensas com pratos planos e paralelos será baseada na revisão feita por MALONEY et al. (1977) e KOLLMANN, KUENZI e STAMM (1975).

Segundo MALONEY et al. (1977), a primeira referência para este tipo de chapa foi feita por Ernst Hubbard em 1887, quando publicou o trabalho intitulado "Die Derwertung Der Holzadfalle" (Utilização de resíduos de madeira), proposto para produzir madeira artificial de serragem e albumina de sangue sob aplicação de calor e pressão.

Krammer obteve, em 1889, uma patente germânica para um método de colagem de maravalhas planas sobre um pano de linho que eram colocados em camadas cruzadas como um compensado.

Watson, em 1905, mencionou a utilização de partículas finas de madeira para a produção de chapas. Esta patente mostra claramente uma chapa de "flake" muito semelhante a alguns tipos de chapas feitas atualmente. Watson poderia ser chamado o inventor das chapas tipo "flake", mas é muito difícil afirmar como uma verdade absoluta sem uma completa revisão mundial da literatura (MALONEY, 1977).

Beckman, em 1918, sugeriu a fabricação de uma chapa com cavacos ou pó de madeira no centro e lâminas nas superfícies. Freudenberg em 1926 falou sobre a utilização de maravalhas planas com os adesivos disponíveis naquela época. Ele notou que o nível de adesivo deveria estar entre 3 e 10%, o que surpreendentemente é o intervalo atualmente utilizado pelas indústrias de chapas.

Nevin, em 1933, recomendou a mistura de serragem grossa e maravalhas com um adesivo e então comprimí-los sob a aplicação de calor. Antoni em 1933 discutiu sobre chapas de uma mistura de fibras, partículas de madeira e elementos grandes como excelsior ou mesmo malha de metal, a serem coladas com cola fenólica ou uréica. Isto ocorreu no momento em que foram desenvolvidas estes dois tipos de resinas sintéticas.

Samsonow, em 1935, recomendou o uso de tiras compridas feitas de lâminas para a fabricação de chapas que era para ser feito de uma maneira cruzada, da mesma forma que em compensados. Este foi o precursor do desenvolvimento da chapa de "flake" orientada. Satow, em 1935, obteve uma patente americana para produzir chapas de cavacos de 75 mm de comprimento arranjados aleatoriamente para prevenir o empenamento. Roher, em 1935, discutiu a prensagem de partículas sobre a superfície do miolo de compensado em uma operação simples.

Carson, em 1936, foi agraciado com uma patente, a qual ele aplicou inicialmente em 1932 para estabelecer uma linha de produção regular para produzir chapas de partículas. Ele propôs usar um tipo de serragem afilada com um conteúdo de umidade de cerca de 12%, que era para ser primeiro dimensionado, impregnado contra o desenvolvimento de fungos e aplicado um retardante contra fogo. Uréia-formaldeído foi aplicada sobre as partículas de madeira em um tambor giratório. Antes da prensagem à quente, uma pré-prensagem foi feita e ele propôs uma cobertura da chapa com um filme de resina sintética termoplástica. Muito do que ele discutiu será encontrado em muitas indústrias de chapas de partículas.

Loetscher, em uma patente de 1936, forneceu dados interessantes sobre como produzir chapas de partículas em um sistema automatizado. Em 1937, ele discutiu a produção de uma chapa feita de serragem com flocos de madeira sobre a superfície para fornecer um efeito decorativo. Esta patente foi o resultado de uma pesquisa iniciada em 1933. De grande interesse foi a indústria Farley &

Loetscher Manufacturing Col., que começou a produção de uma planta piloto em 1935 em Dubuque, Iowa, baseada nesta pesquisa. Partículas quebradas em um moinho receberam cola fenólica líquida em um misturador de concreto adaptado. Quatro colchões de 3,2 mm de espessura foram formados para cada abertura da prensa, pré-prensados e então arranjados em um pacote usando lâminas de metal entre os colchões. Uma prensa de 11 aberturas foi usada; assim 44 chapas foram prensadas ao mesmo tempo. O peso específico das chapas variou de 1,2 a 1,3 e foram chamadas comercialmente de Loetex. As chapas foram aparadas, lixadas e então usadas para material do núcleo para as quais um plástico termo-endurecido a alta pressão foi usado. O nome comercial Farloex foi usado para a chapa recoberta com uma lâmina decorativa. Esta planta piloto funcionou até 1942, quando parou por enfrentar problemas com matéria-prima. Talvez esta possa ser chamada de primeira indústria operacional de chapas de partículas. A empresa realizou pesquisas sobre chapas variando o peso específico de 0,70 a 1,80 com partículas de madeira variando desde partículas grosseiras até pó de madeira. Muitas espécies diferentes foram investigadas. As pesquisas cobriram também uma variedade de aditivos resistentes à água e extensores.

Em uma patente Suíça, Chappuis, descreveu em 1937, uma chapa produzida com partículas de madeira secas e cola na forma de pó (Bakelite).

Pfhol obteve uma patente Suíça em 1936, onde descreveu o uso de tiras longas de madeira entre 50 e 200 mm de comprimento, 4 a 8 mm de largura e 0,5 a 2 mm de espessura, as quais eram arranjadas de uma maneira cruzada resultando em uma chapa com alta estabilidade. Ele recomendou cobrir as superfícies com tiras mais finas, 25 mm de comprimento, 3 mm de largura e 0,2 mm de espessura. Esta é a patente europeia mais conhecida na indústria de chapa de partícula. Pfhol também obteve uma patente na Checoslováquia em 1936 sobre chapas para produtores de escritórios e carpinteiros.

A indústria de produtos de madeira Dyas Ltda., comprou os direitos sobre esta patente e após um ano e meio de trabalho experimental desenhou e

construiu uma linha de produção "in natura" e partiu para a produção comercial. Com o começo da segunda guerra a produção foi mudada para compensados para aeronaves. Após a guerra, a produção não foi retomada porque outros processos mais refinados estavam disponíveis.

Em 1938 e 1940, Torfitwerke G.A. Haseke, obteve patentes sobre métodos de produção de chapas de partículas. A primeira delas tratava do uso de adesivos líquidos com uma secagem após a aplicação do adesivo, para reduzir o conteúdo de umidade. A segunda patente tratava da colagem na prensa antes de remover a chapa para prevenir explosões em uma chapa de alta densidade.

Esta empresa construiu em 1941 uma indústria de chapas de partículas comercial em Bremen, Alemanha, e esta tem sido vista como a primeira planta operacional. Pode ser perguntado entretanto, se a planta americana Farley & Loetscher Mfg. Co. foi a primeira, seguida pela planta Dyas. Parece que uma concordância universal sobre quem foi o primeiro produtor pode não ser possível. Provavelmente existe algum outro produtor pioneiro não mencionado aqui. A indústria Bremen produziu 10 toneladas de chapas por dia de cavacos de "spruce" usando resina fenólica como adesivo. Nos anos 1941-1943 duas indústrias de compensados na Alemanha começaram a produzir chapas semelhantes com sobras de suas operações com compensados, usando resina uréia.

Em 1943, Fred Fahrni, obteve uma patente francesa a respeito do conteúdo de umidade mais favorável para prensagem. Fahrni tornou-se um dos grandes pioneiros desta indústria, desenvolvendo o sistema mundial de indústrias de chapas de partículas Novopan.

A primeira chapa de partículas feita nos Estados Unidos após a II guerra foi supostamente produzida pela companhia Southern Box and Lumber em Wilmington, Carolina do Sul, embora a planta Hu-Wood em Sacramento do Norte, California, supostamente começou as operações em torno de 1944. Em 1947, a corporação Plaswood em Wilton, New Hampshire, começou a fazer-se

conhecida com um produto chamado Plaswood. Outras das primeiras plantas no meio-oeste foram indústrias Swain, Companhia Curtis e Companhia Rock Island Millwork. Em 1951 a companhia Long-Bell Lumber começou a produção com uma planta pequena em Longview, Washington. Ao mesmo tempo, a corporação U.S. Plywood em Anderson, California, começou a produzir "Novoply" sob "franchise" do instituto Fahrni na Suíça. Logo depois, a companhia Pack River Lumber começou a desenvolver sua planta Tenex em Dover, Idaho, a qual foi projetada para produzir chapa com flocos grandes, agora comumente chamados "wafers", que produziram uma chapa adequada para aplicações estruturais e efeitos decorativos.

Acerca de 1960, iniciou-se uma expansão massiva da indústria nos Estados Unidos. Foram desenvolvidas técnicas para produzir chapas com superfícies lisas e as colas foram refinadas para atingir tempo de cura rápido na prensa. A penetração nos mercados de miolo para móveis e revestimento de pisos abriu um vasto mercado que foi explorado com sucesso. O tamanho das plantas aumentou de cerca de 100 toneladas por dia para companhias grandes como a Roseburg Lumber em Oregon, que produzia 2000 toneladas de chapa por dia.

Esforços significantes foram feitos para levar as chapas de partículas e de fibras mais além no mercado de painéis de construção estruturais em uma competição direta com compensados. Alguns grandes avanços ocorreram, mais notavelmente no mercado de assoalhos de casas móveis (mobile home), onde chapas de partículas coladas com uréia suplantaram o compensado para o revestimento de assoalhos. Estas chapas de 1,22m de largura ou mais por 3,66 ou 4,27m de comprimento, eram de custo mais baixo, de superfície lisa e produzidas em comprimentos adequados para a largura completa do vão dos assoalhos de "mobile home". Chapas de flocos foram aprovadas para uso no Canadá. Outras chapas de partículas foram usadas estruturalmente através do mundo.

O desenvolvimento deste segmento particular da indústria de chapas tem sido fenomenal desde a II Guerra Mundial. Muitos tipos diferentes de indústrias de chapas tem sido construídas no mundo, baseadas não somente em resíduos de madeira e madeira roliça cortada especialmente para chapa de partículas, mas também de outros materiais lignocelulósicos como bagaço e linho. A habilidade para usar as matérias primas desperdiçadas até agora tem sido um "boom" para toda a sociedade.

A história da indústria de chapas de partículas no Brasil é difícil de ser descrita face à escassez de publicações a esse respeito. É mencionado que a produção de duas companhias em São Paulo, apesar de pequena, aumentou de 1500 toneladas em 1955 para 3500 toneladas em 1960. As chapas produzidas eram Fibroplan, de prensagem plana, e Solidor, produzida por extrusão (STAHELIN E EVERARD, 1964). Em um trabalho realizado por CARNOS (1988) ele menciona que a madeira aglomerada começou a ser produzida no Brasil no ano de 1965, nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Em um diagnóstico feito pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Aglomerada é mencionado que a indústria de madeira aglomerada no Brasil teve seu início de produção no ano de 1966, mas não fornece maiores detalhes. Segundo este diagnóstico a capacidade de produção desta indústria no ano de 1992 era de 985.000 m³/ano, compreendendo 6 empresas produtoras, com 16 linhas em operação. A produção prevista para 1993/1994 é de 1.199.000 m³/ano, devido a duas novas linhas em processo de montagem (ABIMA, 1992).

Através de um catálogo a indústria Placas do Paraná se declara a pioneira na produção de chapas de madeira aglomerada, iniciando a sua produção em 1966.

As pesquisas sobre chapas de partículas desenvolvidas e publicadas no Brasil, começaram praticamente na década de 80 na Escola de Engenharia Florestal da UFPr, através do curso de pós-graduação. O enfoque que tem sido dado nestes trabalhos trata-se de chapas de partículas estruturais, como pode ser

visto nos trabalhos de BRITO (1984), KEINERT (1985), MATOS (1988), SETSUO (1989), ALBERTO (1992).

3.2 MATÉRIA-PRIMA

Existe uma variedade de material lignocelulósico que pode ser usado com sucesso para a fabricação de chapas. Este material deve preencher os seguintes requisitos: disponibilidade em quantidades adequadas, ser barato, forma adequada para a fabricação de chapa, incorrer em custo relativamente baixo no manuseio e estocagem (MOSLEMI, 1974).

A madeira é a fonte de matéria-prima mais utilizada. STILLINGER, citado por MOSLEMI (1974), classifica a matéria-prima de madeira em fontes não secas e secas. A matéria-prima não seca na ordem de disponibilidade de volume consiste de: maravalhas geradas no aplainamento de madeira verde; resíduo da indústria de compensado, que é normalmente transformado em cavaco e resulta da aparação de lâminas; resíduo de serraria, consistindo de pontas e aparas; madeira em tora reduzida a partículas e serragem. A matéria-prima seca consiste de: maravalhas geradas no aplainamento de madeira seca em estufa; resíduo de compensados produzidos após a secagem das lâminas; resíduo da indústria de móveis e serragem seca. Uma classificação de resíduos semelhante é dada por LEWIS (1971).

As maravalhas são as maiores fontes de matéria-prima para a fabricação de chapas devido ao seu custo favorável e disponibilidade, embora não possua a melhor geometria de partícula (fraco, curvado, volumoso). Por ano, mais de 350.000 toneladas de maravalhas de coníferas são geradas nos Estados Unidos, com um preço por tonelada de 1/4 daquele pago por partículas tipo flocos de alta qualidade e tão pouco quanto 10% daquele pago por madeira serrada (MOSLEMI, 1974). Ainda segundo o mesmo autor, o resíduo requer menos

manuseio e menos processamento do que madeira sólida. Isto implica menos trabalho, capital e custos de manutenção.

A importância das maravalhas também é realçada por LEWIS (1971), onde ele afirma que as chapas de partículas, com poucas exceções, são produzidas principalmente de resíduos tais como maravalhas secas ou verdes misturadas com alguma serragem. As exceções normalmente são plantas desenhadas para produzir produtos específicos de alta resistência e dureza.

Maravalhas são partículas finas de madeira produzidas em um número de operações de trabalho com madeira utilizando dispositivos de corte rotativos para processar a madeira. A produção de maravalhas é acidental. As maravalhas geralmente são cortadas ao longo da grã com um bordo espesso e outro na forma de cunha e são freqüentemente curvados em vários graus. Elas produzem uma chapa inferior em resistência, dureza e estabilidade dimensional comparado às chapas feitas de flocos. Isto é devido ao fato que a configuração das partículas em maravalhas tem um número de características que contribuem para a manufatura de chapas inferiores: a) elas são curvadas e se não quebradas, podem dobrar quando consolidadas em chapas; b) elas são estruturalmente fracas; c) o lado espesso geralmente excede a espessura ótima requerida para a manufatura de chapas de alta qualidade. Sobre o lado positivo, os bordos em forma de pena nestas partículas proporcionam bom entrelaçamento, boa estabilidade em espessura e alta resistência da ligação interna.

Segundo MALONEY (1977), as maravalhas quando comparadas com outras partículas produzidas em condições controladas, são mais complicadas devido à grande variedade de tamanho e forma.

As maravalhas podem ser usadas na forma em que se encontram quando chegam na fábrica, embora muitas vezes são refinadas antes do uso. Pó e partículas superdimensionadas são separadas por peneiramento antes de entrar no processo. Partículas superdimensionadas geralmente são reduzidas em tamanho e retornadas ao processo (MOSLEMI, 1974).

3.2.1 Dimensão das partículas

TALBOTT E MALONEY(1957) estudaram chapas de partículas feitas de maravalhas grossas e finas com três densidades de chapa, três níveis de cera e adesivo fenol-formaldeído em pó. As maravalhas grossas (retidas na peneira de 4,75 mm) resultaram em valores mais altos de módulo de ruptura (MOR) do que as maravalhas finas (passaram na peneira de 4,75 mm e foram retidas na peneira de 1,18 mm) para todos os níveis de resina e cera em todas as densidades de chapa usadas. Ainda segundo esses autores finos são o material que passa em uma peneira de 13,97 mm e é retido em uma peneira de 3,35 mm; o material que passa na peneira de 3,35 mm é considerado serragem. A quantidade de finos geralmente varia de 5 a 10% e a quantidade de serragem varia de 1,5 a 3%, dependendo das condições e posicionamento das facas.

Partículas mais longas e mais finas, todas iguais, produzem uma chapa com resistência à flexão e estabilidade dimensional altos, enquanto que partículas mais curtas e mais espessas produzem uma chapa com resistência à flexão e estabilidade dimensional mais baixas (MOSLEMI, 1974).

KEHR e SCHERFKE (1963) estudaram o efeito da geometria de partículas sobre as propriedades das chapas, onde foram utilizadas partículas produzidas em geradores de diferentes tipos. Eles sugeriram que todas as partículas devem ser peneiradas (para a uniformidade da qualidade da chapa) e as frações grandes reduzidas.

Maravalhas resultam normalmente em chapas de qualidade mais baixa do que aquelas obtidas de flocos. A variável mais importante individualmente que melhorou a qualidade da chapa foi segundo HEEBINK et al. (1972) o aplainamento do material verde, pois partículas verdes não quebram tão facilmente transversal à grã.

Frações mais grossas de maravalhas resultaram em valores mais altos de resistência à flexão e mais baixos em ligação interna para uma variedade de

pesos específicos, conteúdos de resina e cera, ocorrendo o inverso para as frações mais finas (MALONEY, 1977) .

Para uma quantidade constante de resina (baseado no peso), partículas curtas e espessas produzem uma chapa com resistência à ligação interna mais alta comparado com uma feita de partículas longas e finas (BERCHEM citado por MOSLEMI,1974). Este fenômeno pode ser explicado em parte pela quantidade mais alta de resina disponível por unidade de área superficial devido a área superficial mais baixa por unidade de peso.

Testes em uma indústria de chapas em Archangel, mostraram que os finos (fração que passou através de uma peneira de 5 mm, que é normalmente descartada de cavacos grossos preparados de madeira mais ou menos livre de casca antes da produção de chapas) poderiam ser usados em certa quantidade e contribuiu para melhorar a resistência mecânica e a resistência à umidade das chapas de partícula (POPOVA, 1982).

Segundo MALONEY(1976), finos são partículas que passam pela peneira com malha de 0,351 mm. A quantidade de finos está relacionada ao teor de umidade da madeira e não à espécie e varia de 2% a 9,3%. Maior teor de umidade menor quantidade de finos.

RICE E CAREY (1978) removeram e consideraram como finos as partículas que passaram pela peneira de 1,18 mm. RICE (1973) considerou como finos as partículas que passaram pela peneira de 0,85 mm.

KEINERT (1980), produziu chapas de composição em laboratório de *E. grandis* e *E. robusta*. Para a realização deste trabalho as partículas foram classificadas através de uma peneira vibratória, com aberturas de 1,676 - 1,003 - 0,5 mm. Foram considerados como finos as partículas que passaram através da peneira de 0,6 mm.

3.2.2 Umidade das partículas

O efeito do conteúdo de umidade da massa sobre o processo e propriedades das chapas de partículas é altamente significativo. Segundo MOSLEMI (1974), o conteúdo de umidade da massa origina-se de quatro fontes:

a) Água original ou retida. Permanece nas partículas de madeira após a secagem. A quantidade de umidade atribuída a esta fonte varia entre 3 a 6 por cento com base no peso seco das partículas.

b) Água introduzida por adesivos. A maioria dos adesivos são dispersões aquosas de material polimérico de alto peso molecular. Com a aplicação do adesivo (que pode ter 35 a 60 % de umidade), uma quantidade de água adicional é introduzida nas partículas. Parte desta água, entretanto, é evaporada durante o processo de aplicação por pulverização e após atingir a partícula. A porção de água remanescente difunde nas partículas durante a aplicação, prensagem e período de cura. A água desta fonte é capaz de elevar o conteúdo de umidade da massa de 3 a 5 %.

c) Umidade adicionada à massa pela condensação da uréia-formaldeído (que gera água como subproduto). A quantidade de água adicionada desta maneira não é significativa. Quando usa-se 6 % de sólidos na resina, por exemplo, esta pode adicionar um máximo de 0,9 por cento ao conteúdo de umidade geral da massa.

d) Água adicionada pela pulverização na superfície da massa para obter certos resultados finais tais como superfícies mais lisas e uma transferência de calor mais rápida para o miolo da chapa, permitindo tempos de prensagem mais curtos. Esta fonte, também, não contribui muito com o conteúdo de umidade total da massa (aproximadamente 1%).

O conteúdo de umidade do colchão é um fator extremamente crítico não somente para o tempo de prensagem total, mas também no desenvolvimento do

gradiente vertical de densidade. A umidade da superfície evapora e migra para o centro quando os pratos quentes toca o colchão. Isto acelera a transferência de calor para o miolo o que proporciona uma reação mais rápida do adesivo do que se o calor movesse por condução através da madeira e espaços de ar. Contudo, uma migração excessiva de umidade para o miolo requer um ciclo de prensagem excessivamente longo para remover a umidade através dos bordos e prevenir a delaminação da chapa após a liberação da pressão. Umidade excessiva também interfere na reação química de polimerização por condensação, pela qual uréia e fenol-formaldeído são curados. A umidade na superfície também reduz a resistência à compressão da madeira e resulta na densificação da superfície devido à falha de compressão assim que a prensa é fechada. Densificação excessiva da superfície resulta em miolos de baixa densidade para uma dada densidade média da chapa. A resistência à flexão e tração paralela à superfície da chapa aumentará assim que a densificação ocorra mas a ligação interna, cisalhamento interlaminar e arrancamento de parafuso serão mais baixos como resultado do miolo com densidade baixa (MALONEY, 1977).

A quantidade de umidade e sua distribuição através da espessura do colchão contribui significativamente para a qualidade do produto final. Se existir um alto nível de umidade na face do colchão e um baixo nível no miolo, a face da chapa será altamente densificada em relação ao miolo; assim a resistência à flexão e dureza serão significativamente maiores do que em uma chapa prensada similarmente com um conteúdo de umidade uniforme através do colchão e tendo a mesma densidade geral. Quando uma maior densificação da face desta chapa em particular ocorre, o efeito oposto ocorre no miolo, resultando em um miolo com peso específico muito mais baixo do que em comparação com uma chapa feita com um conteúdo de umidade uniforme. Assim, a chapa com um conteúdo de umidade mais alto na superfície terá como já mencionado maior resistência à flexão e dureza mas uma ligação interna mais baixa no miolo da chapa. Tanto quanto o conteúdo de umidade total do colchão possa ser mantido dentro de

faixas razoáveis de modo que a chapa não estoure quando a prensa for aberta, um considerável número de manipulações do conteúdo de umidade pode ser feito para alterar as propriedades da chapa (MALONEY, 1977).

3.2.2.1 Problemas na prensagem devido à umidade das partículas

HSE (1975) produziu chapas onde o conteúdo de umidade do colchão foi de 10, 12, 14 e 16%. Segundo ele, o conteúdo de umidade do colchão alto pode levar a uma excessiva formação de bolhas de vapor durante a prensagem à quente. Assim como HSE (1975), IWASHITA (1974) também encontrou problemas com explosão das chapas devido ao teor de umidade. Ele estudou a viabilidade de produzir-se chapas de partículas a partir de espécies de madeira tropical. O conteúdo de umidade da superfície foi de 18% e do miolo foi de 10%. Para algumas espécies houve explosão das chapas durante a prensagem a quente, havendo a necessidade de redução da umidade da superfície para 15%. O conteúdo de uréia foi de 11% para a superfície e 7% para o miolo. Para uma das espécies foi utilizada resina fenólica porque as chapas estouraram mesmo utilizando 15% de uréia na superfície. Para estas chapas, a densidade nominal foi de 0,70 g/cm³, a temperatura de 150 °C e o tempo de prensagem foi de 10 minutos. A pressão foi aplicada em diferentes níveis, sendo de 30 kg/cm² por 3 minutos, de 15 kg/cm² por 3 minutos e 5 kg/cm² por 4 minutos.

VITAL, LEHMANN e BOONE (1974) fizeram chapas de três camadas de quatro espécies de folhosas exóticas, separadamente e em combinações de partes iguais de duas, três e quatro espécies, usando 9% de resina nos flocos das faces e 7% nos flocos do miolo (base peso seco), 0,75% de cera (base peso seco). As dimensões dos flocos foram de 1,9 cm de comprimento e 0,05 cm de espessura. O conteúdo de umidade inicial das partículas era de 4%, as quais após aplicado o adesivo e aditivos passaram a compor o colchão com 9±1 por cento de

umidade. As condições de prensagem foram: temperatura de 163 °C, tempo de 5 minutos para a maioria das chapas, com exceção da mistura envolvendo três espécies, onde foi usado a temperatura de 151 °C por 6 minutos para evitar estouro.

RICE e CAREY (1978) produziram chapas de flocos utilizando quatro espécies *Tilia heterophylla Vent.* (peso específico 0,33), *Liriodendron tulipifera L.* (peso específico 0,41), *Liquidambar styraciflua* (peso específico 0,51), *Betula lenta L.* (peso específico 0,60). A densidade nominal das chapas foi de 0,56 - 0,68 e 0,80 g/cm³. O conteúdo de resina fenol-formaldeído foi de 4, 6,5 e 9% (base peso seco) e o conteúdo de umidade das partículas foi de 4%. O colchão foi prensado por 15 minutos a uma temperatura de 177 °C e uma pressão de 35 kg/cm³. Segundo eles, ficou evidente no início do processo que alta compactação de massa de baixa densidade iria causar numerosas explosões, especialmente com as chapas de densidade e conteúdos de resina mais altos associados com conteúdo de umidade da massa mais alto. Para incluir as chapas de *Tilia heterophylla Vent.* no estudo foi necessário fazê-las separadamente e resfriar cada uma na prensa para evitar problemas com explosão. Um tempo de 10 minutos de resfriamento foi usado e foi conseguido pela circulação de água fria através dos pratos.

LYON, SHORT e LEHMANN (1980) estudaram o tempo de prensagem mínimo para chapas de flocos prensadas com radio-frequência, onde entre as variáveis estudadas estavam o conteúdo de umidade da massa e o tempo de prensagem. Segundo os autores o tempo mínimo de prensagem não foi afetado pelo conteúdo de umidade do colchão nos intervalos estudados; o efeito das diferenças no conteúdo de umidade do colchão refletiu na pressão máxima requerida para alcançar os espaçadores e que esta pressão foi excessivamente alta para os painéis com 8% de conteúdo de umidade do colchão.

KUHNE e BELIMOU (1978) analisando a prensagem à quente em chapas de partículas de três camadas encontraram valores para o conteúdo de

umidade da massa ótimos sendo de 17 a 28% para as camadas externas e de 7 a 14% para o miolo.

MIKHAILOV et al. (1981) em seu estudo sobre produção de chapas de partículas de folhosas densas recomenda um teor de umidade da massa/resina de 11 a 13%.

Para a produção de chapas as partículas de madeira devem estar com um teor de umidade entre 3 e 8 por cento de umidade para que se possa aplicar o adesivo líquido (FAO, 1991).

3.3 PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

3.3.1 Resistência mecânica

STRICKLER (1959), estudou o efeito de ciclos de prensa e conteúdo de umidade sobre as propriedades de chapas de flocos de *Pseudotsuga taxifolia*. O conteúdo de umidade da massa utilizado foi de 6, 9 e 12%. O adesivo utilizado foi uréia-formaldeído na proporção de 5%. O peso específico dos painéis foi de 0,65, 0,75 e 0,85. Foram utilizados seis ciclos de prensagem, onde um deles foi à pressão constante pôr 12 minutos, para os demais ciclos a pressão máxima foi mantida por diferentes tempos: 0, 1, 2, 4, 6 minutos, reduzindo posteriormente a pressão até completar o tempo total de 12 minutos. Algumas conclusões de STRICKLER (1959) foram as seguintes: 1) Durante a prensagem a quente a taxa inicial de penetração de calor para o centro da chapa aumenta quando o conteúdo de umidade geral do colchão aumenta; quando o conteúdo de umidade da superfície do colchão aumenta e quando a pressão dos pratos aumenta; 2) O conteúdo de umidade controla a temperatura no centro da chapa após a elevação da temperatura inicial; 3) O ciclo da prensa, o conteúdo de umidade e a distribuição do conteúdo de umidade afetam a densidade das camadas através da

espessura da chapa, que por sua vez influencia nas propriedades de resistência das chapas.

GATCHELL, HEEBINK E HEFTY (1966) produziram chapas com teores de umidade do colchão de 8, 12 e 16%. Segundo os autores o conteúdo de umidade de 12% desenvolveu a melhor flexão estática e ligação interna, uma vez que a interação mais favorável da plasticização da madeira e o desenvolvimento da interface madeira-cola ocorre neste espectro de conteúdo de umidade. A 8% de conteúdo de umidade a interface madeira-cola foi adequada para boa formação de adesão da cola, mas a madeira não estava plasticizada suficientemente para que um número máximo de adesão fosse formado. Assim, os valores de flexão estática foram mais baixos e as amostras de ligação interna, após lixadas, romperam parcialmente nas camadas superficiais. Para conteúdos de umidade do colchão mais baixos, a falta de plasticização limita o desenvolvimento de resistência. Para 16% de conteúdo de umidade uma quantidade excessiva de umidade ocorreu, particularmente no centro da chapa, quando o ciclo de prensa avançou, o que reduziu as condições ótimas para a formação de uma boa adesão e limitando aparentemente o desenvolvimento da resistência da ligação interna.

HEEBINK, LEHMANN E HEFTY (1972) utilizaram conteúdos de umidade do colchão de 8, 10, 12 e 14 %, onde 10 e 12 % foram tidos como o intervalo ótimo de umidade. Conteúdos de umidade mais baixos produziram problemas tais como umidade insuficiente para adesão apropriada e necessitam de pressões mais altas para consolidar o colchão. Chapas feitas com 8% de umidade apresentaram maior espessamento fora da prensa e portanto densidade mais baixa, o que resultou em propriedades de resistência mais baixas. As chapas prensadas com 14% de umidade tiveram resistência à ligação interna mais baixa, o que resultou do gradiente de densidade e uma concentração de umidade no centro da chapa no final do ciclo de prensa. Altos conteúdos de

umidade requerem tempos de prensagem mais longos para possibilitar o escape de umidade suficiente para se obter ligação interna desejada.

HSE (1975) produziu chapas de flocos com densidades de $0,70 \text{ g/cm}^3$, temperatura de prensagem de $168 \text{ }^\circ\text{C}$, tempo de fechamento da prensa de 45 segundos e tempo de prensagem de 4,5 ou 7,5 minutos, conteúdo de resina de 2, 4, 6, 8 e 10% (base peso de madeira seca) e conteúdo de umidade do colchão de 10, 12, 14 e 16%. Segundo o autor o conteúdo de umidade foi ajustado por pulverização de água sobre os flocos quando eles entravam no aplicador de cola. A ligação interna (LI) e o módulo de ruptura (MOR) decresceram e o módulo de elasticidade (MOE) aumentou quando o conteúdo de umidade do colchão aumentou. HSE (1975) afirma que este resultado é esperado porque conteúdo de umidade do colchão alto aumenta a densificação da superfície da chapa e conseqüentemente melhora o MOE. Por outro lado, conteúdo de umidade do colchão alto pode conduzir a uma penetração excessiva de resina e à formação excessiva de bolhas de vapor durante a prensagem à quente; ambas as condições enfraquecem IB e MOR. Adicionalmente, ainda segundo HSE (1975), pequenas delaminações foram encontradas em muitos dos painéis feitos com 16% de conteúdo de umidade. Uma vez que painéis comerciais são consideravelmente maiores do que os painéis de laboratório testados e conseqüentemente dissipam vapor mais lentamente, é provável que o limite mais seguro para o conteúdo de umidade do colchão seja próximo de 14%.

WINISTORFER e DICARLO (1988), observaram um aumento no MOR e LI quando o conteúdo de umidade da massa e o conteúdo de sólidos da resina decresceram.

De acordo com MATOS (1988), em painéis cujas partículas apresentavam maior teor de umidade foram obtidos maiores valores médios de MOE, mas a ligação interna e a resistência ao arrancamento de parafuso não foram afetados.

LYON, SHORT e LEHMANN (1980) produziram chapas de flocos utilizando radio-frequência na prensagem. Entre outras variáveis estudadas, o conteúdo de umidade da massa foi de 8, 10, 12, 14%. Segundo os autores a ligação interna foi adversamente afetada quando o conteúdo de umidade da massa foi de 14 por cento.

3.3.2 Resistência à absorção de água e estabilidade dimensional

O inchamento em espessura talvez seja o fator mais importante quando se considera os efeitos da umidade. Ele pode ser afetado pela maioria das variáveis tais como espécie de madeira, geometria de partícula, densidade da chapa, nível de resina, eficiência da aplicação de cola e condições de prensagem. O controle do inchamento em espessura pode ser possível através de um entendimento melhor

dos efeitos destas variáveis e através do uso de tratamentos especiais. (HALLIGAN, 1970). Baseado numa revisão de literatura HALLIGAN (1970) concluiu que vários pesquisadores têm examinado tratamentos especiais destinados ao controle do inchamento e que os resultados publicados têm sido conflitantes. Isto reforça a necessidade de reavaliar os níveis ótimos de muitas variáveis quando alterações forem feitas. Até agora, pós-tratamento com vapor parece ser o tratamento especial mais promissor.

GATCHELL, HEEBINK e HEFTY (1966) estudaram a estabilidade dimensional de chapas de partículas, as quais após o equilíbrio numa temperatura de 26,67°C e 65% de umidade relativa foram expostas a uma das seguintes condições até entrar em equilíbrio: secagem em estufa; temperatura de 26,67°C combinando com umidades relativas de 30, 80, ou 90 por cento; e imersão em água em temperatura ambiente por 30 dias. A partir dos resultados apresentados por eles pode-se observar que os dois níveis de parafina utilizados

de 2 e 4% reduziram o inchamento em espessura quando comparados com os tratamentos sem parafina, quando as chapas foram expostas a várias umidades relativas. Já para os testes de longa duração a parafina não melhorou a estabilidade. Segundo os autores as variações no conteúdo de umidade do colchão não afetaram a estabilidade dimensional.

GERARD (1966), estudou o comportamento dimensional de partículas em uma construção simulada de chapa de partículas. Segundo ele, na direção da espessura das chapas de partículas, as partículas próximas à superfície podem ser comprimidas a um grau maior do que as partículas internas devido à prensagem. Maior inchamento, como resultado da imersão, maior compressão retida após inchamento e maior contração ocorrerão nas partículas mais externas. Na direção da largura das chapas de partículas, as partículas podem aumentar em dimensão como um resultado da prensagem. O aumento dimensional será maior nas partículas internas e aumentará com o grau de compressão imposta. O inchamento como resultado da imersão, será maior nas partículas externas. O grau de inchamento como um resultado da imersão, na espessura e largura das partículas nas superfícies externas, no estudo realizado por GERARD (1966), foi maior do que o inchamento normal para Aspen (*Populus tremuloides* Michx.). Forças de inchamento extremas poderão ocorrer entre partículas no extrato mais externo da chapa de partículas quando exposta a conteúdos de umidade altos.

RICE e CAREY (1978) em um estudo preliminar produziram chapas com tempos de prensagem de 5, 10, 15 e 20 minutos, densidade de chapa de 0,72 g/cm³ e temperatura de prensagem de 177 °C. O tempo de 15 minutos, segundo os autores, foi o que pareceu estar mais próximo do ótimo por reduzir o inchamento no teste de envelhecimento acelerado (WCAMA).

WINISTORFER e DICARLO (1988) observaram que o inchamento em espessura (IE) aumentou com o aumento no conteúdo de umidade da massa e o conteúdo de resina.

DOOSTHOSEINI (1987) produziu chapas de partículas a partir da espécie *Tamarix sp*, utilizando 9-13% de resina UF em chapas de laboratório e 10% em chapas comerciais. O conteúdo de umidade da massa foi de 12-16% para chapas de laboratório. O aumento no conteúdo de umidade da massa não teve efeito significativo sobre a resistência à água.

STRICKLER (1959) concluiu a partir de um trabalho com chapas de flocos que o ciclo de prensa e o conteúdo de umidade geralmente não afetam a taxa de absorção de água no teste de imersão em água por 2 e 24 horas.

Chapas de partículas com teor de umidade mais elevado (10%) apresentaram maior estabilidade dimensional (MATOS, 1988).

3.4 APLICAÇÃO DE PARAFINA

O aditivo mais comumente usado em chapas de partículas é a cera, porque esta melhora a resistência da chapa à absorção de água. A cera é aplicada normalmente como uma emulsão nas quantidades de 0,5% a 1% (MALONEY, 1977).

Segundo RICE (1973), o teste de imersão em água a temperatura ambiente por 30 dias e o teste de envelhecimento acelerado (WCAMA) indicaram que a cera é de valor marginal, entretanto, deve ser notado que estes testes são de algum modo não realísticos para avaliar a eficiência da cera. O teste WCAMA envolve temperaturas que podem fundir e extrair a cera da chapa, e o teste de imersão de 30 dias é uma exposição muito mais prolongada e contínua à água do que seria esperado em condições normais. Os dados deste teste sugerem que embora a cera seja de valor limitado para manter as chapas livres de umidade, por proteger temporariamente as uniões partícula-partícula sob exposições severas, ela pode ainda ser de valor.

LEHMANN (1978) estudou condições cíclicas de umidade e seus efeitos sobre a resistência e estabilidade de chapas de "flakes" estruturais. As

exposições incluíram o teste ASTM D-1037, os ciclos imersão sob vácuo e pressão e secagem em estufa, e ciclos de umidade relativa baixa e alta. Segundo o autor a parafina foi efetiva no retardamento de alterações dimensionais somente em condições de imersão em água a baixas temperaturas (21,11°C). Os níveis de 1 e 2% de parafina produziram resultados semelhantes no retardamento de absorção de água. Geralmente os níveis de parafina de 1,5 e 2% foram quase similares em seus efeitos e foram somente ligeiramente mais efetivos do que 1% de parafina.

Painéis com maior estabilidade dimensional foram encontrados por MATOS (1988) quando 1% de parafina foi utilizado para a fabricação dos mesmos. O teste utilizado foi imersão em água por 2 e 24 horas.

PEREDO (1991) produziu chapas de resíduos de madeira provenientes de serraria e laminadora, bem como de partículas de madeira de pinus, utilizando 8% de uréia-formaldeído. As chapas foram produzidas com uma densidade de 700 kg/m³, em três camadas, com espessura de 11 mm. Foi aplicada 0,8% (base peso seco) de uma substância hidrófoba na metade das chapas. O tempo de prensagem foi de seis minutos e a temperatura de prensagem de 160 ± 10° C. Ele observou que 0,8% do agente hidrófobo permitiu obter, para duas horas de imersão em água a 20° C, valores de inchamento inferiores aos estipulados pela norma DIN 68763. Segundo Peredo o efeito do agente hidrófobo diminui à medida que aumenta o tempo de imersão em água. Finalmente, ele observou que o agente hidrófobo não afetou a resistência à flexão, porém a tração foi afetada negativamente ao adicionar parafina nas chapas que continham casca.

3.5 CONDIÇÕES DE PRENSAGEM

A prensagem é uma etapa extremamente crítica na produção de chapas de partículas. É durante esta etapa que muitas das propriedades físicas são

determinadas, especialmente aquelas propriedades influenciadas pelo gradiente vertical de densidade. O conteúdo de umidade da massa, a velocidade de fechamento da prensa e o tempo e a temperatura de prensagem são as condições de prensagem mais significantes que afetam as propriedades das chapas de partículas. (KELLY, 1977).

HEEBINK, LEHMANN e HEFTY (1972) estudaram a redução do tempo de prensagem em chapas de partículas. Segundo eles o conteúdo de umidade do painel após a prensagem aumentou com o decréscimo do tempo de prensagem. Na maior parte, foram obtidas chapas satisfatórias quando o conteúdo de umidade era de 7,5% ou abaixo após a prensagem. Ainda segundo os autores o tempo de prensagem mínimo depende basicamente de dois fatores: uma combinação adequada do tempo e temperatura para curar o adesivo e perder suficiente umidade para evitar a formação de bolhas de vapor. Geralmente o tempo de prensagem mínimo poderia ser determinado como o ponto onde a pressão requerida para manter a chapa na espessura nominal cair abaixo do nível da resistência da ligação interna da chapa.

O tempo de prensagem mínimo de uma chapa de partícula depende basicamente da transferência de calor, que por sua vez varia com a espessura, temperatura da prensa, taxa de fechamento e distribuição do conteúdo de umidade. Quando alta pressão interna de vapor é envolvida, o tempo de prensagem necessário para prevenir explosões depende de fatores tais como tipo de resina, densidade, temperatura da prensa e conteúdo de umidade total (LEHMANN, GEIMER e HEFTY, 1972).

STRICLER(1959) estudou vários ciclos de prensagem para a produção de chapas de partículas. Todos os ciclos compreendiam um tempo de prensagem total de 12 minutos, porém foram diferenciados quanto ao tempo de prensagem com carga máxima, os quais foram de 0, 1, 2, 4, 6 minutos e um ciclo com 12 minutos com pressão constante. O ciclo de 2 minutos à carga máxima desenvolveu um módulo de ruptura significativamente superior.

HSE (1975) produziu chapas de flocos utilizando tempos de prensagem de 3, 4, 5, 7 e 9 minutos. Segundo ele, todas as propriedades (LI, MOR e MOE) melhoraram quando o tempo de prensagem foi aumentado. O tempo de prensagem de 3 minutos foi menos do que o mínimo necessário para produzir uma resistência de ligação interna adequada de 4,92 kg/cm².

3.6 GRADIENTE DE DENSIDADE

Segundo HEEBINK, LEHMANN e HEFTY (1972), o conteúdo de umidade e a distribuição da umidade dentro do colchão foi o fator mais importante na determinação do gradiente de densidade, seguido pelo tempo de fechamento e temperatura da prensa. Variáveis como densidade, espessura, tipo de resina e espécie tiveram efeito secundário. Ainda segundo os autores as propriedades de resistência foram fortemente relacionadas aos gradientes de densidade dos painéis. Eles estudaram chapas produzidas com conteúdo de umidade uniforme e chapas produzidas com umidade distribuída desigualmente no colchão. Segundo eles o perfil de densidade característico de uma chapa prensada com conteúdo de umidade do colchão uniforme foi aquele de densidade mais baixa próximo à superfície, subindo rapidamente até um máximo de 0,238 cm da superfície e então declinando para uma densidade mais baixa no centro da chapa. A variação máxima de densidade através do perfil da chapa foi de 0,20 gramas por centímetro cúbico. Se o colchão continha somente 5% de umidade, com os restantes 5% de umidade aplicados nos pratos, um perfil semelhante mas menos variável foi produzido onde a amplitude de variação foi somente 0,10 g/cm³. Se o miolo do colchão continha 5% de umidade e cada face continha 15% de umidade, um perfil extremamente variável era originado, onde ocorreu uma variação de densidade de 0,33 g/cm³. Revertendo o conteúdo de umidade do miolo e da face para 15 e 5 por cento, respectivamente, um gradiente de densidade muito mais uniforme foi produzido, mas a densidade mínima de 0,56

g/cm³ foi para a superfície e a máxima de 0,67 g/cm³ foi próxima ao miolo. A resistência à flexão decresceu como resultado disto, porque a densidade da superfície foi estreitamente relacionada com esta propriedade de resistência e a resistência da ligação interna foi relacionada à densidade do núcleo.

STRICKLER (1959) também afirma que a densidade das camadas influencia nas propriedades de resistência de chapas de partículas.

3.7 REVESTIMENTO DAS CHAPAS

IWASHITA (1974) descreveu um estudo dos efeitos da aplicação de revestimento para ambos os lados de uma chapa de partículas sobre a deformação que ocorre quando é sujeita à tensão de flexão sob conteúdo de umidade constante ou variado ciclicamente. O uso de revestimento com lâminas de *Fagus crenata* (beech) de 1 mm de espessura aumentou o módulo de elasticidade da chapa em 80% e reduziu a deformação de flexão em 50%. O recobrimento de

chapas sobre ambos os lados com uma lamina fina de resina reduziu consideravelmente a deformação de flexão com variação cíclica do conteúdo de umidade.

RUSANOV et al. (1980) produziram chapas de partículas de três camadas de 16 e 18 mm de espessura recobertas com lâminas de *Fagus grandifolia* (beech) com 0,6 mm de espessura. Eles observaram que o revestimento das chapas causou uma redução na estabilidade dimensional. Uma lâmina simples de *Fagus grandifolia* ou uma face de *Swetenia macrophylla* mais uma lâmina de contra-face aumentaram a resistência de chapas de partículas de *Fagus grandifolia* búlgara em até 100%.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA

A matéria-prima utilizada foi originada da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *Elliottii* plantado no ano de 1970, na fazenda Jangada, município de Três Barras, estado de Santa Catarina, pertencente ao grupo Forex S/A. O diâmetro médio das árvores era de 30,48 cm e a altura média de 23,50 m.

4.2 COLETA DO MATERIAL

As árvores foram derrubadas e transformadas em toras . Ao mesmo tempo foram retiradas amostras de cinco árvores, na forma de discos, para a determinação da densidade básica. Esses discos foram retirados da base, do meio da altura comercial e da extremidade da altura comercial da árvore.

Após a coleta, os discos foram colocados em sacos plástico, identificados e enviados para o laboratório de Tecnologia da Madeira do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná para posteriores determinações. As toras por sua vez, foram encaminhadas para a serraria da própria fazenda, onde foram transformadas em tábuas. Em seguida, estas tábuas foram secas em estufa convencional até atingir um teor de umidade de 8 %, após o que, foram enviadas para outra unidade do Grupo Forex, situada na cidade de Curitiba-PR. Nesta unidade, as tábuas, oriundas da base e sem medula, foram aplainadas em uma plaina de 4 faces, para posterior transformação em madeira limpa (clearwood). O aplainamento das tábuas deu origem às maravalhas, matéria-prima utilizada para a confecção das chapas de partículas.

4.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Os discos de madeira foram colocados em água até submergirem, quando então determinou-se o volume dos mesmos através do método de deslocamento em água. Após isto, os discos foram colocados em estufa, a 103° Celsius, para secar até atingir peso constante. O cálculo da densidade foi então calculado segundo recomendação da Copant 30:1 - 004, como segue:

$$d = \frac{P_{\text{seco}}}{V_{\text{úmido}}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Vúmido

d = densidade básica da madeira (g/cm³)

Pseco= peso da madeira seca (g)

Vúmido= volume da madeira saturada (cm³)

As densidades encontradas para a espécie em estudo constam no Anexo 1.

4.4 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Por falta de maiores informações sobre a utilização de maravalhas, para a fabricação de chapas de partículas, no Brasil, foi feito um experimento preliminar para se ter uma idéia do comportamento deste material como matéria-prima. O objetivo principal deste experimento foi determinar a melhor geometria de partículas e se as condições preestabelecidas eram adequadas aos propósitos do trabalho. Um segundo experimento, denominado de experimento principal, foi montado para avaliar o efeito de alguns fatores sobre as propriedades das chapas de maravalhas, no sentido de buscar melhores propriedades para estas chapas.

Um terceiro experimento, denominado de experimento complementar, foi estabelecido com o objetivo de melhorar as propriedades de flexão das chapas, através do revestimento das mesmas com lâminas de madeira.

4.4.1 Experimento preliminar

Densidade nominal da chapa (g/cm^3): 0,75

Conteúdo de adesivo (uréia-formaldeído): 10% (base peso seco)

Teor de umidade das partículas (%): 3

Tempo de prensagem (minutos): 4

Tempo de fechamento da prensa (segundos): 50

Temperatura da prensa ($^{\circ}\text{C}$): 170

Malhas das peneiras do moinho (mm): 25 - 18 - 12 - 5,8 e sem malha

Número de repetições: 5

4.4.2 Experimento principal

Densidade nominal da chapa (g/cm^3): 0,75

Conteúdo de adesivo (uréia-formaldeído): 10% (base peso seco)

Teor de parafina (%): 1 (base peso seco)

Teor de umidade das partículas (%): 3, 6 e 9

Tempo de prensagem (minutos): 4, 8 e 12

Tempo de fechamento da prensa (segundos): 50

Temperatura da prensa ($^{\circ}\text{C}$): 170

Malha da peneira (mm): 5,8

Número de repetições: 5

4.4.3 Experimento complementar

Neste experimento estudou-se a possibilidade de se fazer um acabamento superficial no sentido de melhorar as propriedades das chapas produzidas em laboratório. O acabamento consistiu no revestimento das chapas com lâminas de madeira de *Swietenia macrophylla* (mogno) de 1 mm de espessura.

4.5 DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DAS CHAPAS

4.5.1 Massa de partículas

$D = M/V$ onde,

D = densidade da chapa a 12% de umidade (g/cm^3)

M = massa de partículas a 12% de umidade (g)

V = volume da chapa = $E \times L \times C$ (cm^3)

E = espessura da chapa (cm)

L = largura da chapa (cm)

C = comprimento da chapa (cm)

Da fórmula anterior tem-se:

$$M = D \times V.$$

Através desta fórmula obteve-se a massa de partículas necessária considerando-se que as mesmas tinham 12% de umidade. Como neste trabalho

os teores de umidade utilizados foram de 3%, 6% e 9%, houve a necessidade de calcular a massa de partículas para estes teores de umidade, o que pode ser conseguido da seguinte maneira:

Em uma chapa com 12% de umidade tem-se:

100 partes de partículas a 0% de umidade

10 partes de adesivo sólido

12 partes de umidade

1 parte de parafina

TOTAL 123 partes

Assim,

123 partes correspondem a M (massa de partícula a 12% de umidade)

Calcula-se a massa de partículas a 0% de umidade

$$M_0 = (M \times 100) / 122 \quad \text{onde,}$$

M_0 = massa de partículas a 0% de umidade (g)

A partir de M_0 pode-se calcular a massa de partícula necessária para qualquer teor de umidade, da seguinte forma:

$$M_n = (n/100 + 1) \times M_0 \quad \text{onde,}$$

M_n = massa de partículas a um determinado teor de umidade n (g)

n = teor de umidade das partículas pretendido (%)

4.5.2 Quantidade de adesivo

A quantidade de adesivo (sólido) preestabelecida foi de 10% sobre o peso de partículas secas, então

$$AS = M_0 \times 10/100, \text{ sendo}$$

AS = quantidade de adesivo na forma sólida (g)

Como o adesivo utilizado estava na forma líquida, foi necessário fazer a devida transformação

$$AL = AS \times 100/TS$$

AL = quantidade de adesivo na forma líquida (g)

TS = teor de sólidos contido no adesivo líquido (%)

4.5.3 Quantidade de catalisador

A quantidade de catalisador utilizada foi de 2% sobre a quantidade de adesivo na forma sólida

$$CS = 2/100 \times AS$$

CS = quantidade de catalisador na forma sólida (g)

Para a utilização do catalisador foi necessário a diluição em água antes de misturar com o adesivo, o que foi feito considerando-se uma solução com concentração de 24%, como segue:

$$CL = 100/24 \times CS, \text{ onde}$$

CL = solução de catalisador (g)

4.5.4 Quantidade de parafina

Para a manufatura das chapas destinadas ao experimento principal acrescentou-se 1% de parafina (sólidos) no adesivo, com base no peso de partículas a 0% de umidade.

$$PS = 1/100 \times M0, \text{ onde}$$

PS = peso de parafina (sólidos) em g

Como a parafina utilizada estava na forma de emulsão numa concentração de 35%:

$PL = 100/35 \times PS$ onde,

PL = peso de emulsão de parafina (g)

4.6 CLASSIFICAÇÃO DAS MARAVALHAS

Inicialmente as maravalhas foram classificadas através de peneiras para se ter uma idéia da dimensão das mesmas. Esta classificação foi feita nas condições em que se encontravam as maravalhas assim que saíram da fábrica, tanto no que tange ao teor de umidade, quanto à geometria das mesmas. As dimensões das malhas utilizadas foram: 9,52-4,00-2,00-0,84-0,50-0,25-0,00 milímetros e a classificação foi baseada no peso das maravalhas retidas em cada peneira. O tamanho de cada amostra foi de 20 gramas, o reostato acionado na posição 5 e o tempo de classificação de 5 minutos. A variação de granulometria pode ser vista no Anexo 2 .

4.7 PREPARAÇÃO DAS MARAVALHAS

Parte das maravalhas permaneceu com as suas dimensões originais e parte foi quebrada em um moinho de martelos, onde usou-se peneiras com quatro diferentes tamanhos de malhas: 25, 18, 12 e 5,8 mm. A variação de geometria destas maravalhas está na Anexo 3. Foi feita também uma classificação mais ampla para as maravalhas originadas da malha 5,8, pois este material deu origem às chapas do experimento principal (Anexo 4). Em seguida, estas maravalhas foram passadas em uma peneira mecânica com malha de 0,6 mm para retirada dos finos e depois secas em uma estufa convencional, a uma temperatura de 80 graus Celsius, até atingir teores de umidade médios de 3, 6 e 9%.

4.8 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade das maravalhas foi determinado antes e depois da aplicação de adesivo através de uma balança à base de luz infravermelho específica para este fim (Anexo 5). Esta medida foi tomada para se ter idéia de quanto seria o aumento no teor de umidade após a aplicação do adesivo e suas possíveis implicações no momento da prensagem.

4.9 PREPARAÇÃO DO ADESIVO

O adesivo utilizado foi uréia-formaldeído numa proporção de 10 % (sólidos) do peso das partículas secas, a partir do qual fez-se determinações do teor de sólidos, da viscosidade, do pH e do tempo de formação de gel. Juntamente com o adesivo foi aplicado emulsão de parafina numa proporção de 1 % (sólidos) do peso das partículas secas. Foi calculado também o teor de sólidos da emulsão de parafina.

4.9.1 Determinação do teor de sólidos do adesivo e da emulsão de parafina

Foram tomadas 5 amostras do adesivo e 5 amostras da emulsão de parafina, pesando 5g cada uma e colocadas numa estufa a 105 ± 2 °C até atingir peso constante, momento em que as amostras foram pesadas novamente. Então determinou-se o teor de sólidos da seguinte forma:

$TS = P1/P0 \times 100$, onde

TS = teor de sólidos (%)

P0 = peso da amostra climatizada (g)

P1 = peso da amostra estabilizada na estufa (g)

4.9.2 Determinação da viscosidade

A viscosidade foi determinada em um viscosímetro Brookfield, onde utilizou-se os discos número 2 e 3. As amostras utilizadas foram de 500 ml.

4.9.3 Determinação do pH

O pH foi determinado em um pHmetro onde os eletrodos eram calibrados em soluções com pH de 6,8 e 4,0.

4.9.4 Tempo de formação de gel

O tempo de formação de gel foi determinado em um aparelho com haste móvel que fazia um movimento vertical de subida e descida até ocorrer a passagem do adesivo da fase líquida para gel. Foi adicionado ao adesivo 2% de solução de sulfato de amônia.

4.10 APLICAÇÃO DE ADESIVO

Após a pesagem das maravalhas nas quantidades adequadas, fez-se a aplicação de adesivo por meio de aspersão, com auxílio de uma pistola à base de ar comprimido, em um aplicador do tipo tambor rotatório. Em seguida

determinou-se o conteúdo de umidade do colchão (partícula+adesivo+parafina). Os resultados estão no Anexo 5.

4.11 PREPARAÇÃO DO COLCHÃO DE PARTÍCULAS

As maravalhas foram colocadas em uma forma com as dimensões de 45 cm de largura por 55 cm de comprimento. Neste momento foram tomadas as medidas da altura do colchão antes e depois da pré-prensagem (Anexo 6), que foi realizada

em uma prensa hidráulica a frio com capacidade para 15 toneladas. A pré-prensagem foi feita para evitar a perda de partículas nas bordas do colchão no momento do transporte para a prensa e facilitar o fechamento da prensa. A pressão utilizada foi de 0,8 kg/cm² toneladas. Logo após, o colchão foi colocado entre 2 lâminas de alumínio, momento em que foram colocados também os espaçadores de 1,5 cm de espessura (figuras 1 e 2).

4.12 PRENSAGEM

A prensagem foi feita em uma prensa de pratos planos e horizontais, com aquecimento elétrico. As condições de prensagem são dadas no item 4.4. Logo após a prensagem as chapas foram esquadrejadas, momento em que retirou-se amostras para a determinação do teor de umidade das chapas naquele momento, os quais encontram-se no Anexo 7. As chapas foram armazenadas em uma sala de climatização com umidade relativa de $65 \pm 1\%$ e temperatura de 20 ± 3 °C (ASTM D 1037-78), até atingirem o equilíbrio (Figuras 3 e 4).

FIGURA 1 - PRÉ-PRENSAGEM DO COLCHÃO DE PARTÍCULAS

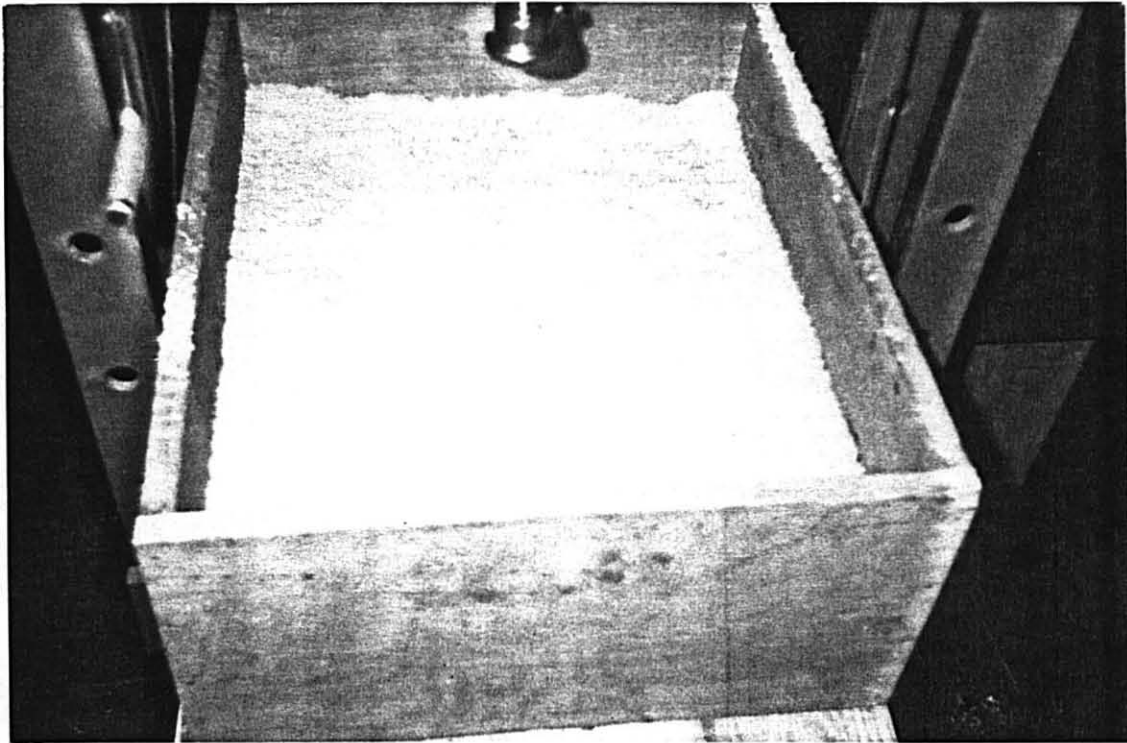


FIGURA 2 - COLCHÃO DE PARTÍCULAS COM ESPAÇADORES PRONTO PARA A PRENSAGEM

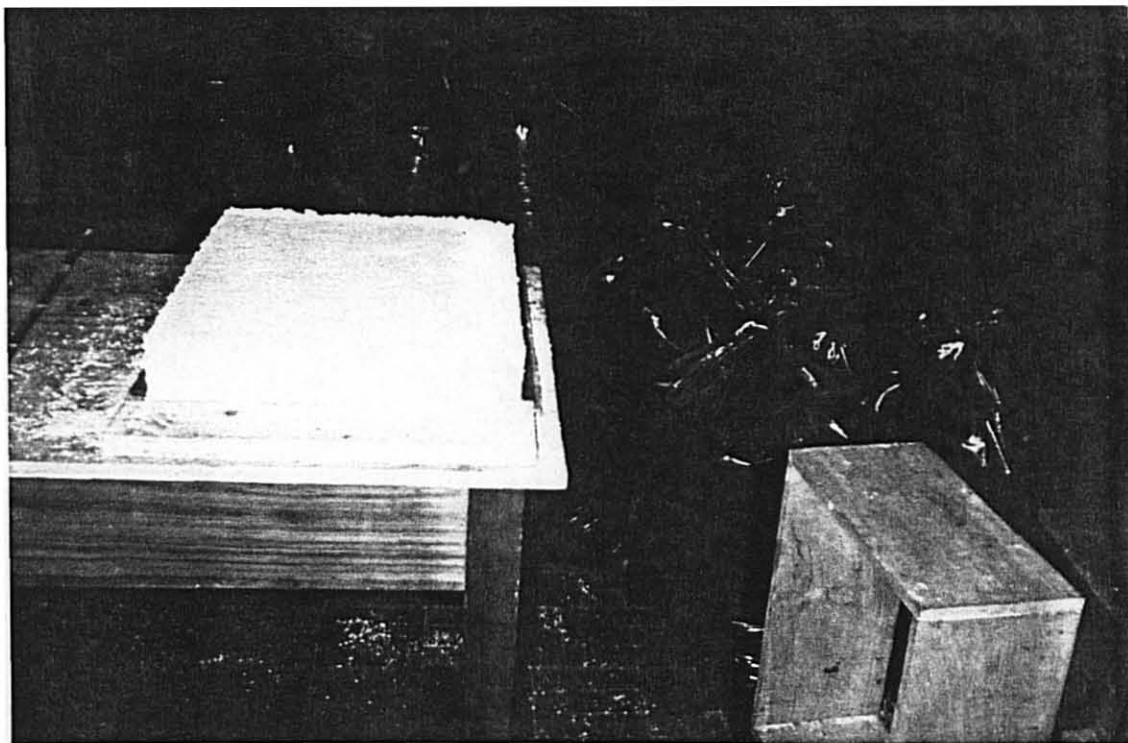


FIGURA 3 - DETALHE DA SUPERFÍCIE DAS CHAPAS DE MARAVALHAS
"IN NATURA"

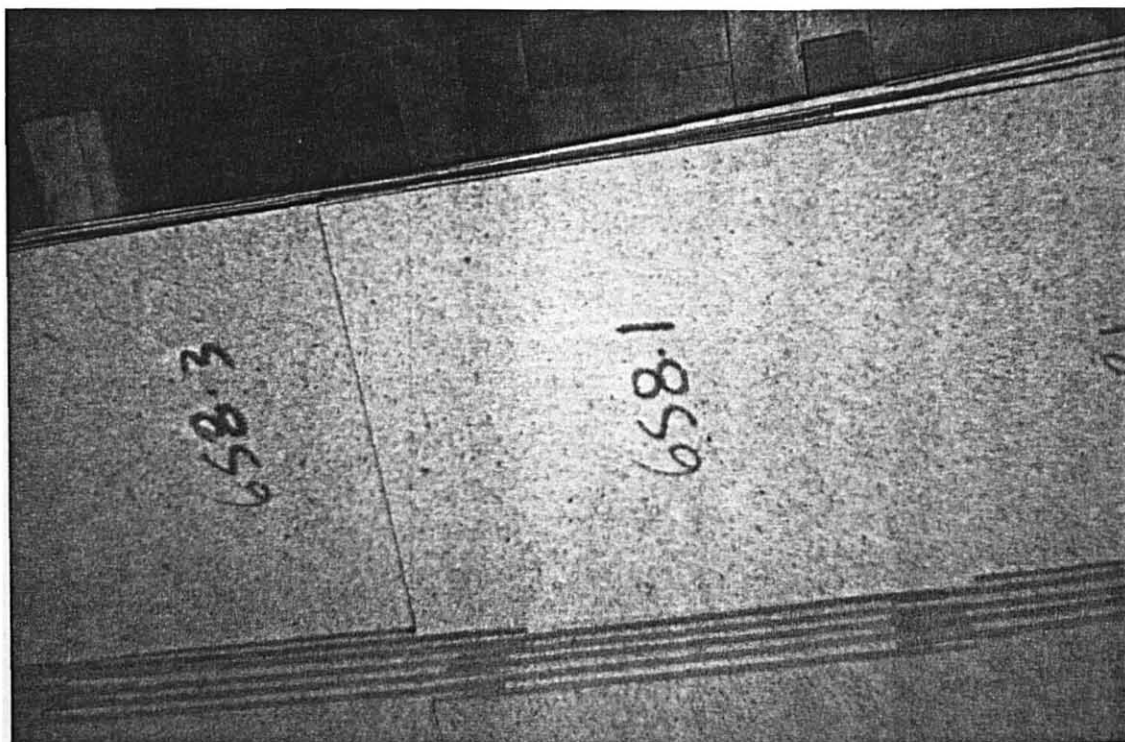
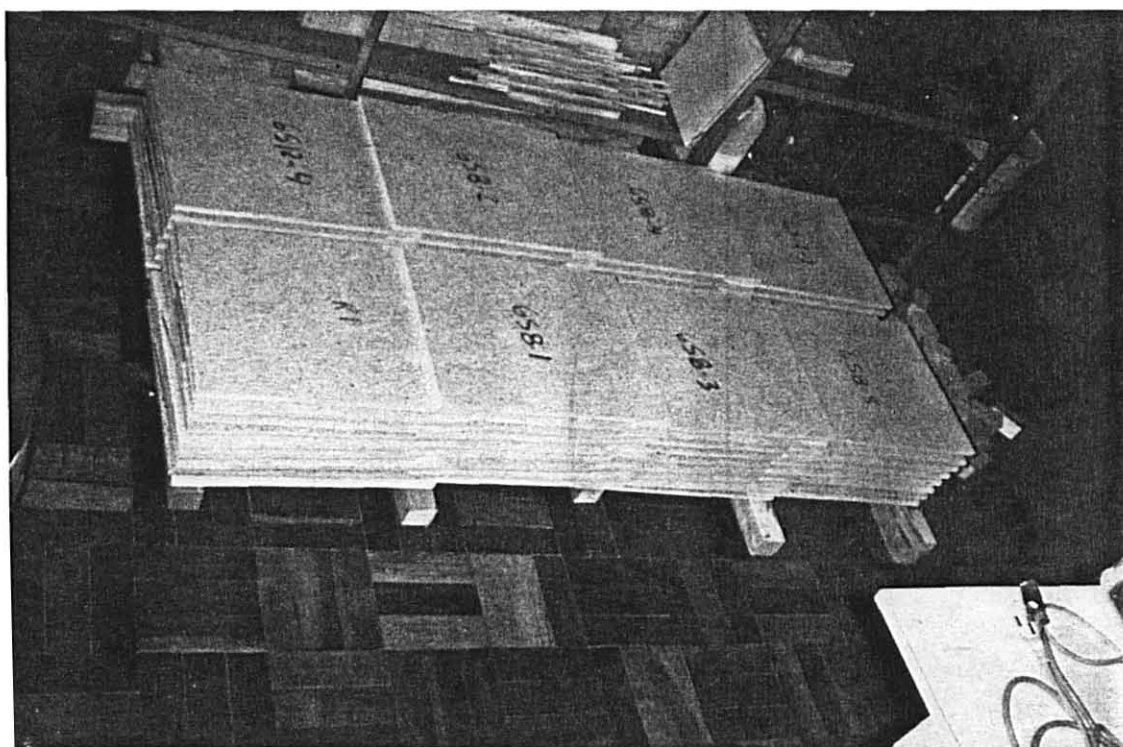


FIGURA 4 - ACONDICIONAMENTO DAS CHAPAS DE MARAVALHAS NA SALA DE CLIMATIZAÇÃO



4.13 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

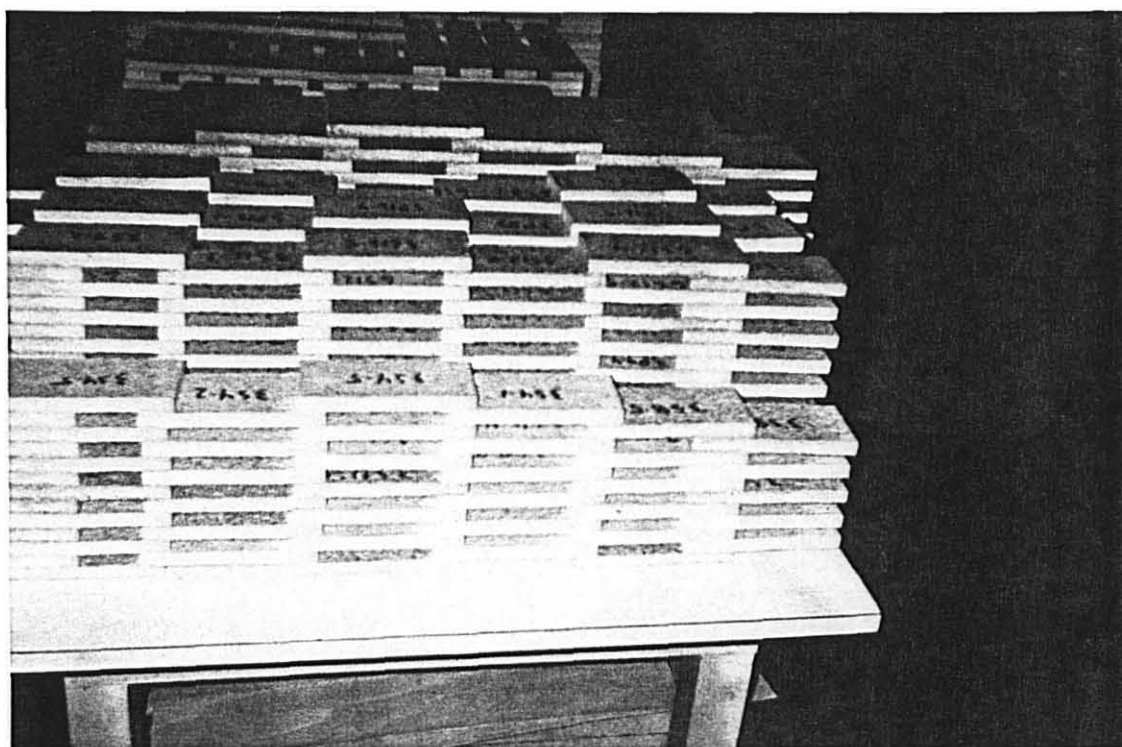
Os corpos de prova foram confeccionados e acondicionados de acordo com a norma ASTM D 1037-78 (Figura 5). O corpo de prova de ligação interna foi colado entre dois blocos de madeira resistente, medindo 8 cm de comprimento por 6,5 cm de largura e 1,5 cm de espessura, para possibilitar a realização do teste.

Para a determinação do gradiente de densidade não foi possível a utilização do corpo de prova com somente a espessura original da chapa devido a limitações operacionais da plaina, no momento da retirada de camadas sucessivas. Para resolver este problema foram retiradas duas amostras de cada chapa para serem coladas uma à outra de modo a possibilitar a retirada das camadas na plaina. Estas amostras foram retiradas com 27,7 cm de comprimento, 5 cm de largura e a espessura sendo a mesma da chapa. Antes da montagem estas amostras foram pesadas, medidas e identificadas para posterior determinação da densidade. Em seguida foi retirada de uma das amostras uma camada de 0,5 mm da superfície inferior e da outra amostra uma camada também de 0,5 mm só que desta vez na superfície superior. Este procedimento foi tomado para se obter uma boa colagem das amostras. Montou-se, então, corpos de prova com uma de suas superfícies representando a superfície superior da chapa e a outra representando a superfície inferior da chapa.

4.14 ENSAIOS

Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaio hidráulica, baseados na norma ASTM D 1037-78 (pag. 320 a 349), com exceção da determinação do gradiente de densidade. As informações foram obtidas através da leitura direta no relógio da máquina e no caso do ensaio

FIGURA 5 - ACONDICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA NA SALA DE CLIMATIZAÇÃO



de flexão estática, através do relógio e de um gráfico carga versus deformação para a determinação da carga no limite proporcional. Após a realização do ensaio de flexão estática, foram retiradas amostras dos corpos de prova para a determinação do teor de umidade.

Como foi dito anteriormente os ensaios foram feitos de acordo com a norma ASTM D 1037-78, mas em alguns casos encontrou-se alguma dificuldade para obter o material especificado na norma. Para estes casos utilizou-se o material encontrado no mercado o mais próximo possível do recomendado pela norma, que foram os seguintes:

Ensaio de arrancamento de prego: foram utilizados pregos com 2,8mm de diâmetro e 58mm de comprimento.

Ensaio de arrancamento de parafuso: foram utilizados parafusos para madeira auto-atarrachantes com 4,2 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento.

Os ensaios realizados neste trabalho foram os seguintes:

4.14.1 Experimento preliminar

- Flexão estática
- Ligação interna

4.14.2 Experimento principal

- Flexão estática
- Ligação interna
- Arrancamento de parafuso normal à face
- Arrancamento de parafuso da borda da chapa
- Arrancamento de prego normal à face

- Arrancamento de prego lateral
- Gradiente de densidade
- Absorção de água e inchamento em espessura

Ressalta-se que o ensaio de flexão estática foi realizado para corpos de prova retirados em dois sentidos: longitudinal e transversal. O sentido longitudinal foi considerado o sentido paralelo às barras de ferro, que delimitam a espessura da chapa, e o sentido transversal foi considerado como perpendicular ao sentido longitudinal.

4.14.3 Experimento complementar

- Flexão estática
- Ligação interna
- Arrancamento de parafuso normal à face
- Arrancamento de parafuso da borda da chapa
- Arrancamento de prego normal à face
- Arrancamento de prego lateral
- Gradiente de densidade
- Absorção de água e inchamento em espessura

Os resultados dos ensaios foram comparados com a norma comercial americana CS 236-66 transcritos no Anexo 8.

4.14.4 Determinação da densidade

A densidade de cada corpo de prova foi determinada através da pesagem dos mesmos em uma balança com precisão de centésimo de gramas e suas espessuras determinadas com relógio deflectômetro com precisão de centésimo

de milímetro. O comprimento e a largura foram medidos com uma régua milimetrada.

4.14.5 Gradiente de densidade

Os corpos de prova foram pesados e medidos antes e depois da retirada de cada camada para posterior determinação da densidade de cada uma delas. As camadas foram retiradas sucessivamente de 1 em 1 mm até atingir-se o centro da espessura original da chapa. Depois disso o corpo de prova era virado e repetia-se o processo até atingir novamente o centro da espessura original da chapa. Deste modo pode-se retirar camadas de 1 em 1 mm de toda a extensão da espessura da chapa.

Os cálculos para determinação da densidade das camadas e da posição relativa foram efetuados da seguinte forma:

a. Determinação da densidade das camadas

m = índice numérico

$D_m = (P_m - P_{m+1}) / (E_m - E_{m+1}) \times C \times L$, onde

D_m = densidade da camada (g/cm³)

P_m = peso do corpo de prova antes da retirada da camada (g)

P_{m+1} = peso do corpo de prova depois da retirada da camada (g)

E_m = espessura do corpo de prova antes da retirada da camada (cm)

E_{m+1} = espessura do corpo de prova depois da retirada da camada (cm)

C = comprimento do corpo de prova (cm)

L = largura do corpo de prova (cm)

b. Determinação da posição relativa

$$PR_m = (E_1 - E_{m+1})/E \times 100, \text{ onde}$$

PR_m = posição relativa da camada retirada (%)

E = espessura original da chapa (cm)

E_1 = espessura anterior do corpo de prova (cm)

E_{m+1} = espessura posterior do corpo de prova (cm)

4.15 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar o efeito dos tratamentos foi utilizada a análise de covariância para todos os ensaios. Este procedimento foi tomado porque quando se produz chapas de partículas é praticamente impossível obter-se chapas com a mesma densidade. Inclusive a variação de densidade dentro de uma mesma chapa, quer no sentido paralelo à superfície, quer no sentido perpendicular à superfície, é bastante considerável. Portanto, a análise de covariância ajusta os resultados das observações às respectivas densidades das chapas, permitindo-se assim uma comparação mais realista. Todas as análises foram feitas ao nível de 95% de probabilidade, tanto para o teste de F , quanto para o teste de *Tukey*.

4.15.1 Experimento preliminar

Primeiramente foi feito uma análise para o experimento preliminar, onde pretendeu-se verificar se os tratamentos com geometrias de partícula diferentes apresentariam diferenças significativas entre suas médias. Foi feita uma análise de covariância baseada em um delineamento inteiramente ao acaso com 5 tratamentos e 5 repetições.

TRATAMENTOS	A ¹	B ²	C ³	D ⁴	E ⁵
REPETIÇÕES	5	5	5	5	5

¹ - maravalha com tamanho original

² - peneira com 25mm

³ - peneira com 18 mm

⁴ - peneira com 12 mm

⁵ - peneira com 5,8 mm

4.15.2 Experimento principal

A análise do experimento principal foi feita para avaliar a influência dos fatores umidade, parafina e tempo de prensagem em seus vários níveis e suas interações. Esta análise foi dividida em três partes devido ao fato do arranjo do experimento não ter sido balanceado, o que impossibilitou uma única análise do tipo fatorial; na primeira delas os tratamentos foram analisados como sendo um delineamento inteiramente ao acaso para possibilitar a comparação entre todos os tratamentos, como pode ser visto a seguir:

ESQUEMA DE ANÁLISE 1

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S ¹			P ²			S ¹		P ²		S ¹	P ²
TEMPO(min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
TRATAMENTOS	3S4	3S8	3S12	3P4	3P8	3P12	6S8	6S12	6P8	6P12	9S12	9P12
REPETIÇÕES	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

1 TEOR DE PARAFINA - 0%

2 TEOR DE PARAFINA - 1%

Na segunda parte, os tratamentos foram arranjados em grupos balanceados de tal forma que se pudesse fazer uma análise fatorial e saber qual dos fatores foi o responsável pela existência, quando for o caso, de efeitos significativos. Os arranjos foram os seguintes:

Primeiramente os tratamentos foram agrupados em função do teor de umidade, desta forma foram obtidos três grupos: 3%, 6% e 9% de umidade. Assim fez-se a análise de todos os tratamentos com 3% de umidade, depois daqueles com 6% e por último daqueles com 9%. Nos grupos com 3% e 6% de umidade foi possível analisar se houve ou não influência da parafina e dos tempos de prensagem. No grupo com 9% de umidade só foi analisado a influência da parafina, porque neste caso só havia um tempo de prensagem.

ESQUEMA DE ANÁLISE 2

	PRIMEIRA ANALISE						SEGUNDA ANALISE				TERCEIRA ANALISE	
UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S ¹			P ²			S ¹		P ²		S ¹	P ²
TEMPO(min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
TRATAMENTO	3S4	3S8	3S12	3P4	3P8	3P12	6S8	6S12	6P8	6P12	9S12	9P12
REPETIÇÕES	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

¹ TEOR DE PARAFINA - 0%

² TEOR DE PARAFINA - 1%

Na terceira parte os tratamentos foram reagrupados de tal forma que se pudesse analisar a influência do teor de umidade e que se obtivesse arranjos balanceados, o que foi feito em duas etapas. Na primeira agrupou-se os tratamentos com 3% e 6% de umidade, sem e com parafina, 8 e 12 minutos de

prensagem. Na segunda etapa analisou-se os tratamentos com 3%, 6% e 9% de umidade, sem e com parafina, e 12 minutos de prensagem.

ESQUEMA DE ANÁLISE 3

UMIDADE(%)	3						6			
PARAFINA(%)	S ¹			P ²			S ¹		P ²	
TEMPO(min)		8	12		8	12	8	12	8	12
TRATAMENTO		3S8	3S12		3P8	3P12	6S8	6S12	6S8	6P12
REPETIÇÕES		5	5		5	5	5	5	5	5

¹ TEOR DE PARAFINA - 0%

² TEOR DE PARAFINA - 1%

ESQUEMA DE ANÁLISE 4

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S ¹			P ²			S ¹		P ²		S ¹	P ²
TEMPO(min)			12			12		12		12	12	12
TRATAMENTO			3S12			3P12		6S12		6P12	9S12	9P12
REPETIÇÕES			5			5		5		5	5	5

¹ TEOR DE PARAFINA - 0%

² TEOR DE PARAFINA - 1%

4.15.3 Experimento complementar

No experimento complementar não foi feita análise estatística pelo fato do revestimento com lâminas não ter sido feito para as outras chapas. Neste caso a avaliação foi somente por comparação de valores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENSAIO PRELIMINAR

As propriedades das chapas estudadas no ensaio preliminar são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE MÓDULO DE RUPTURA, MÓDULO DE ELASTICIDADE E LIGAÇÃO INTERNA (kg/cm²)

PROPRIEDADE	TRATAMENTO				
	A	B	C	D	E
Mod. Ruptura	65,64c	66,47bc	81,21a	73,35b	81,04a
Mod. Elasticidade	7831,52c	8509,42bc	9864,82ab	8540,71bc	10525,82a
Ligação interna	2,67d	3,76cd	5,07b	4,35bc	7,19a

OBS: As letras após os números, quando iguais, indicam a não existência de diferença estatística entre os tratamentos.

A - maravalhas com tamanho original

B - peneira com 25 mm

C - peneira com 18 mm

D - peneira com 12 mm

E - peneira com 5,8 mm

O módulo de ruptura, o módulo de elasticidade e a ligação interna apresentaram uma tendência em aumentar com a diminuição nas malhas da peneira do moinho. Na medida em que utilizou-se malhas menores nas peneiras aumentou-se a uniformização das partículas devido à quebra das partículas maiores, geralmente curvadas. Com isto houve um melhor contato entre as

partículas, o que levou a uma melhor utilização da cola e a uma diminuição dos espaços vazios, fatores estes que contribuíram para a elevação das propriedades de resistência em chapas feitas a partir de maravalhas. Estes resultados estão de acordo com o observado por KEHR E SCHERFKE(1963).

A busca de uniformidade de partículas é um fator positivo para a fabricação de chapas de boa qualidade, mas não se deve confundir com redução de dimensões pura e simplesmente, pois é sabido que quando se produz partículas em máquinas especiais objetivando a fabricação de chapas, as melhores partículas devem apresentar um índice de esbeltez (razão entre o comprimento e espessura da partícula) entre 120 a 200.

Os tratamentos C e E apresentaram os melhores resultados para o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, os quais não apresentaram diferença significativa entre si mas foram superiores aos demais. Era de se esperar que as maravalhas provenientes da malha do moinho com 12 mm de diâmetro gerassem chapas melhores que aquelas provenientes da malha de 18 mm, pois a princípio as primeiras deveriam ser mais uniformes. Entretanto, quando se observou a classificação de maravalhas apresentada no Anexo 3, verificou-se que o somatório das três primeiras classes de malhas (malhas de peneiras para classificação) 4 mm, 2 mm e 0,84 mm para as partículas oriundas da peneira do moinho com 18 mm foi de 34,72 gramas, para a peneira do moinho com 12 mm foi de 37,63 gramas e para a peneira do moinho de 5,80 mm foi de 32,18 gramas. Estes resultados demonstram que as partículas originadas na malha do moinho de 12 mm eram de maior geometria que aquelas originadas na malha do moinho de 18 mm, portanto menos uniformes que as mesmas. Este detalhe foi possível de se observar também visualmente no momento de manusear as maravalhas. A explicação para este fato é que tais maravalhas eram originalmente mais espessas que as anteriores.

A uniformização de partículas melhorou o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade mas não foi suficiente, por si só, para elevar os resultados obtidos

aos níveis mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-66 (Anexo 8) para chapas de média densidade. Estes resultados eram de alguma maneira esperados pois a matéria prima foi originada de maravalhas, que geralmente são curtas, apresentam uma extremidade mais espessa que a outra e são curvadas, características estas desfavoráveis ao Módulo de Ruptura e ao Módulo de Elasticidade. LEWIS (1971) e MOSLEMI (1974) mencionam algumas limitações das maravalhas para a produção de chapas de partículas.

Os melhores resultados de ligação interna foram obtidos para o tratamento E, que foi significativamente superior aos demais, com a média corrigida de 7,19 kg/cm². Os tratamentos E, C e D foram superiores aos valores mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-66, que é de 4,9 kg/cm² para chapas de média densidade. Os tratamentos A e B não apresentaram valores satisfatórios.

5.2 ENSAIO PRINCIPAL

5.2.1 Flexão estática e ligação interna

Os resultados dos ensaios de flexão estática no sentido longitudinal e transversal, bem como de ligação interna são apresentados na tabela 2.

TABELA 2 - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA E LIGAÇÃO INTERNA (kg/cm^2)

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S			P			S		P		S	P
TEMPO(min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
MOR_L (kg/cm^2)	107,01 abc	98,05 c	106,38 abc	113,21 abc	100,35 bc	101,14 abc	109,9 5 abc	99,78 bc	98,96 c	113,29 abc	119,35 a	118,07 ab
MOR_T (kg/cm^2)	118,43 abcde	119,25 abcde	110,19 de	126,35 abcd	117,03 bcde	109,34 de	126,4 0 abcd	111,93 cde	99,32 c	119,85 abcd	133,77 ab	138,48 a
MOE_L (kg/cm^2)	11512 b	12102 ab	15641 a	13064 ab	12099 ab	11638 b	1207 3 ab	12398 ab	12413 ab	13758 ab	14365 ab	14946 ab
MOE_T (kg/cm^2)	13256 bc	15477 abc	16469 ab	14132 abc	14242 abc	13501 bc	1390 9 abc	13195 c	13126 c	16239 abc	16815 a	16859 a
L.I. (kg/cm^2)	4,29 bc	5,53 ab	7,06 a	5,89 ab	5,03 bc	4,60 bc	4,60 bc	5,08 bc	3,24 c	4,11 bc	4,59 bc	5,38 ab

S - TEOR DE PARAFINA - 0%

P - TEOR DE PARAFINA - 1%

Os resultados encontrados no ensaio de flexão estática para ambos os sentidos, bem como para ligação interna não apresentaram uma tendência definida quando foi feita a análise de covariância para o arranjo inteiramente ao acaso. Como pode ser visto na literatura, os teores de umidade do colchão mais indicados para boas propriedades de flexão estática e ligação interna situa-se entre 12% e 14%. Neste trabalho, apesar de ter-se utilizado partículas com teores de umidade iniciais próximos de 3%, 6% e 9%, verificou-se que após a aplicação

do adesivo as diferenças entre os teores de umidade do colchão ficaram bastante próximos, como pode ser visto no Anexo 5. Este fato pode ter contribuído para que as tendências não tenham sido melhor definidas. Outro fato que pode ter contribuído para a falta de tendências é a geometria de partículas. Nos Anexos 4 e 6 observa-se a ocorrência de diferença em geometria, apesar da tentativa de uniformização. Esta dificuldade apresentada pela geometria de partículas foi observada também por MALONEY (1977). Outro fator que pode explicar a falta de uma melhor definição dos resultados é quando se compara o teor de umidade do colchão de partículas com o teor de umidade da chapa logo após a prensagem (Anexos 5 e 7, respectivamente). Nota-se nestas tabelas que nem sempre uma umidade do colchão mais alta significa teor de umidade da chapa logo após a prensagem mais alto. Este comportamento está relacionado com a geometria de partículas, ou seja, partículas com maior geometria, maior a facilidade para a liberação de umidade. Teores de umidade mais altos logo após a prensagem podem ser indicativos de propriedades de resistência mais baixas, uma vez que, a reação de cura do adesivo pode ser dificultada devido a este fator. Apesar da variação no gradiente de densidade ter sido pequena e não explicar por si só as tendências ocorridas, o seu efeito somado aos efeitos das variáveis anteriormente citadas, certamente contribuiu para o comportamento dos resultados obtidos.

O tratamento que apresentou valor mais alto para o módulo de ruptura no sentido longitudinal foi 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem. Este tratamento não apresentou diferença significativa dos tratamentos 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem. Os demais tratamentos apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem. O

melhor valor obtido para o módulo de ruptura no sentido transversal foi para o tratamento 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem que foi, estatisticamente, igual aos tratamentos 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem e 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem e diferiu significativamente dos demais tratamentos. Para o módulo de elasticidade no sentido longitudinal as diferenças entre os tratamentos foram mínimas, pois, com exceção dos tratamentos 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem e 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, todos os demais foram estatisticamente iguais, onde o maior valor obtido foi para o tratamento 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem. Em relação ao módulo de elasticidade Transversal o melhor resultado foi apresentado pelo tratamento 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, que foi estatisticamente igual aos tratamentos 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem e 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem. Os tratamentos 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem e 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem diferiram significativamente dos demais tratamentos.

Observa-se na Tabela 2 que os resultados dos ensaios no sentido transversal da chapa, tanto para o módulo de ruptura como para o módulo de elasticidade, foram sempre superiores aos ensaios realizados no sentido longitudinal. Apesar disso, quando se fez a análise de pares de tratamentos iguais com sentidos diferentes de fabricação, só ocorreu um caso em que houve diferença significativa, que foi entre os tratamentos com 3% de umidade, sem

parafina e 8 minutos de prensagem , tanto para o módulo de ruptura , como para o módulo de elasticidade. Um fato interessante a ser observado é que, apesar das diferenças entre os sentidos de fabricação não serem significativas para a maioria dos casos, elas foram suficientes, no caso do módulo de ruptura, para fazer com que um número maior de tratamentos no sentido transversal alcançassem os valores mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-66 (Anexo 8), atingindo um percentual de 67%, enquanto que no sentido longitudinal esses números foram bem menores, alcançando apenas 33% dos valores mínimos, que é de 112 kg/cm². Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade não alcançaram os valores mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-66, que é de 24500 kg/cm².

No caso da ligação interna os tratamentos que apresentaram os melhores resultados foram 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem e 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, os quais não apresentaram diferença significativa entre si. O tratamento 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem diferiu significativamente dos demais tratamentos. A ligação interna em 50% dos casos superou os valores mínimos.

Análise do efeito dos tratamentos

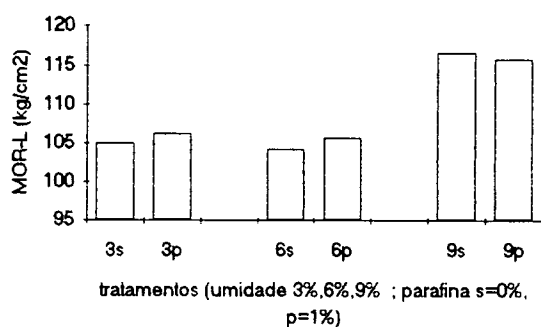
Parafina

Analisando o fator parafina isoladamente observa-se que não houve uma tendência definida para as propriedades estudadas, como pode ser visto na Figura 6. As médias dos tratamentos para o módulo de ruptura no sentido longitudinal e transversal e o módulo de elasticidade no sentido longitudinal não

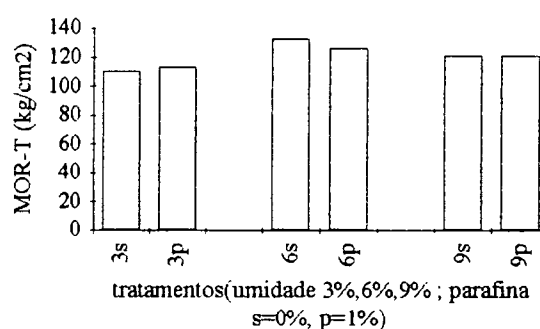
apresentaram diferença significativa entre si. PEREDO e TORRES (1991) também não encontraram influência da parafina sobre as propriedades de flexão estática.

FIGURA 6 - INFLUÊNCIA DA PARAFINA SOBRE: a) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO LONGITUDINAL, b) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO TRANSVERSAL, c) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO LONGITUDINAL

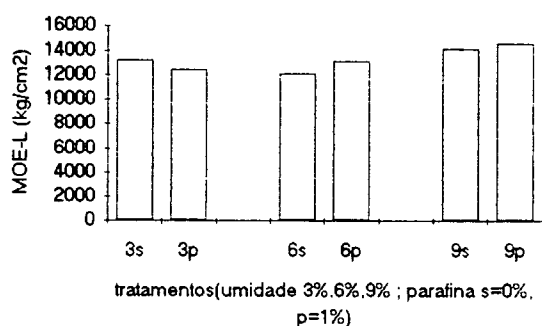
a)



b)



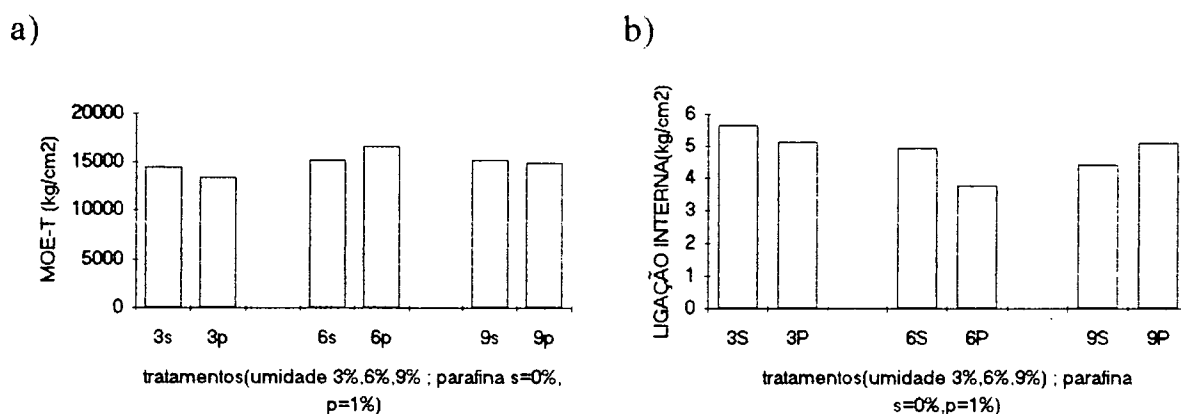
c)



Para o módulo de elasticidade no sentido transversal ocorreu diferença significativa entre as médias dos tratamentos que continham o nível de umidade de 3%, onde os tratamentos sem parafina apresentaram melhores resultados do que aqueles com parafina. Provavelmente, para um nível de umidade baixo como é o caso de 3%, a adição de 1% de parafina pode ter sido suficiente para dificultar o processo de adesão (Figura 10a).

No ensaio de Ligação Interna houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos que continham 6% e 9% de umidade. Nos tratamentos com 6% de umidade, aqueles sem parafina apresentaram melhores resultados, enquanto que para os tratamentos com 9% de umidade houve uma inversão de tendência, ou seja, os tratamentos com parafina apresentaram melhores resultados (Figura 10b). Os resultados encontrados para os tratamentos com 6% de umidade estão de acordo com o que observou PEREDO e TORRES (1991).

FIGURA 7 - INFLUÊNCIA DE PARAFINA SOBRE: a) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO TRANSVERSAL, b) LIGAÇÃO INTERNA



Tempo de prensagem

Os resultados do módulo de ruptura longitudinal e transversal, módulo de elasticidade longitudinal, não apresentaram uma tendência definida, enquanto que o módulo de elasticidade transversal e a ligação interna apresentaram uma tendência em aumentar com o aumento no tempo de prensagem (Figura 11). Os maiores tempos de prensagem além de permitirem uma eliminação maior da umidade, provavelmente contribuíram para uma melhor consolidação do adesivo, o que pode ser confirmado observando-se o Anexo 7. Da mesma forma HSE (1975) encontrou resultados melhores para o módulo de elasticidade e para a ligação interna quando o tempo de prensagem foi aumentado.

O módulo de ruptura longitudinal teve como melhor resultado o tratamento com 3% de umidade e 4 minutos, o qual não apresentou diferença significativa do tratamento com 3% de umidade e 12 minutos de prensagem. Estes dois tratamentos foram significativamente diferentes do tratamento com 3% de umidade e 8 minutos de prensagem. Para os tratamentos com 6% de umidade não houve diferença entre os tempos de 8 e 12 minutos. Em relação ao módulo de ruptura transversal os tratamentos com 4 e 8 minutos de prensagem e 3% de umidade foram superiores e apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos com 12 minutos de prensagem e 3% de umidade, mas não apresentaram diferença entre si. Entre os tratamentos com 8 e 12 minutos de prensagem e 6% de umidade não houve diferença significativa.

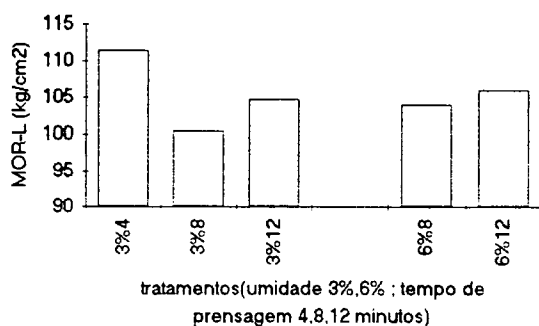
O módulo de elasticidade longitudinal teve como melhor resultado o tratamento com 3% de umidade e 12 minutos de prensagem, o qual não apresentou diferença significativa do tratamento com 3% de umidade e 4 minutos de prensagem. Como no caso anterior, estes dois tratamentos apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento com 3% de umidade e 8 minutos de prensagem, enquanto que entre os tratamentos com 6% de umidade aqueles com 8 minutos de prensagem não apresentaram diferença

significativa daqueles com 12 minutos. Em relação ao módulo de elasticidade transversal o fator tempo não proporcionou diferença significativa entre nenhum dos tratamentos.

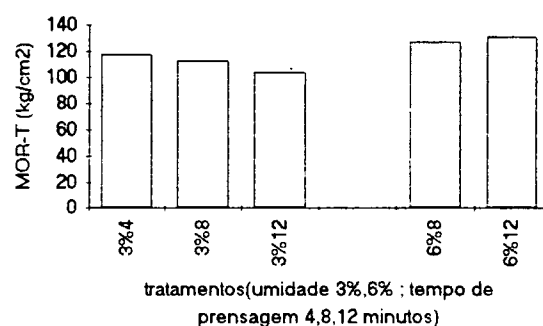
A ligação interna não sofreu influência significativa do tempo de prensagem.

FIGURA 8 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PRENSAGEM SOBRE: a) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO LONGITUDINAL, b) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO TRANSVERSAL, c) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO LONGITUDINAL, d) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO TRANSVERSAL, e) LIGAÇÃO INTERNA

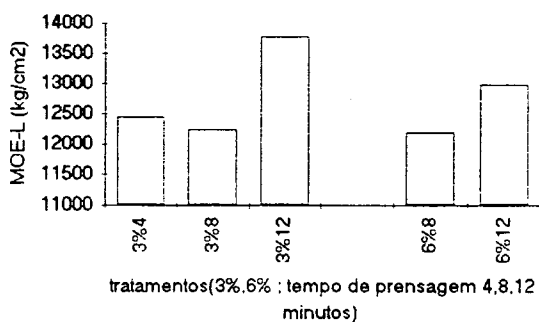
a)



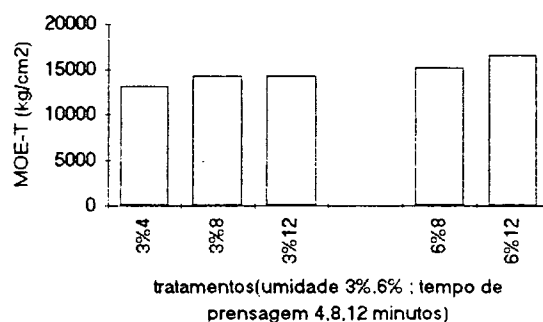
b)



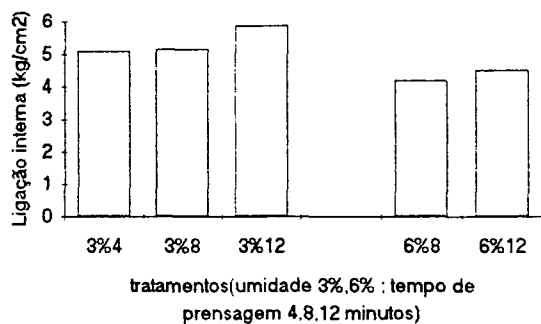
c)



d)



e)



Umidade

A influência do teor de umidade foi avaliada para os tratamentos com 12 minutos de prensagem. As propriedades de flexão estática apresentaram uma tendência em aumentar com o aumento no teor de umidade. Para a ligação interna os resultados não apresentaram tendências (Figuras 12 e 13).

Em relação ao módulo de ruptura no sentido longitudinal, os tratamentos com 9% de umidade diferiram significativamente dos tratamentos com 3% e 6% de umidade, os quais não apresentaram diferença significativa entre si. No caso do módulo de ruptura no sentido transversal, os tratamentos com 9% de umidade não apresentaram diferença significativa dos tratamentos com 6% de umidade, mas ambos apresentaram diferença em relação aos tratamentos com 3% de umidade.

Teores de umidade mais altos possibilitaram uma transferência de calor mais rápida da superfície para o miolo da chapa quando os pratos da prensa aquecidos entravam em contato com a chapa. Com isto as reações de cura da cola foram aceleradas e assim, uma cura mais completa pode ser alcançada, acarretando uma melhor consolidação da chapa e, conseqüentemente, um módulo de ruptura mais alto. Este comportamento também foi observado por MALONEY (1977), STRICKLER (1959), HEEBINK, LEHMANN E HEFTY

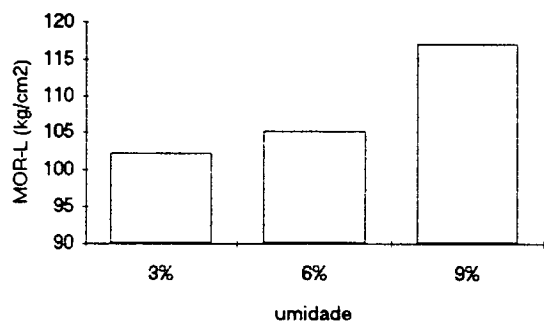
(1971), HSE (1975), GATCHELL, HEEBINK E HEFTY (1966), DOOSTHOSEINI (1990).

Para o módulo de elasticidade longitudinal e transversal, os diferentes níveis de umidade não proporcionaram diferença significativa entre as médias dos tratamentos.

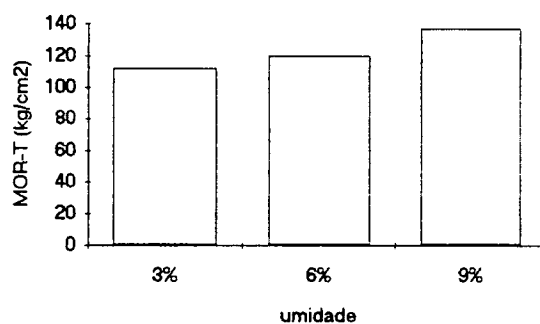
A respeito da ligação interna, foi visto anteriormente que, quando o tempo de prensagem foi de 12 minutos, os diferentes níveis de umidade não apresentaram diferença entre si (Figura 13a). Entretanto, quando a análise dos dados foi baseada nos tratamentos com tempo de prensagem de 8 e 12 minutos, 3% e 6% de umidade, sem e com parafina, os tratamentos com 3% de umidade foram significativamente melhores que aqueles com 6% de umidade (Figura 13b). Nesta segunda análise foi incluído um tempo de prensagem menor, que foi de 8 minutos. Provavelmente, este tempo de prensagem não foi suficiente para que a umidade das partículas fosse satisfatoriamente eliminada no casos dos tratamentos com 6% de umidade de partícula (11,65% de umidade do colchão) o que, conseqüentemente, pode ter dificultado a cura do adesivo no interior da chapa. Já para os tratamentos com 3% de umidade de partícula (9,44% de umidade do colchão), o tempo de prensagem de 8 minutos deve ter sido suficiente para que a umidade do interior da chapa evaporasse, contribuindo para uma melhor reação de cura. GATCHELL, HEEBINK E HEFTY (1966); HEEBINK, LEHMANN E HEFTY (1972); HSE (1975), observaram que conteúdos de umidade da massa muito altos como 14 ou 15%, ou muito baixos como 8%, são negativos para a ligação interna. Os melhores valores estão entre 10% e 12% segundo estes autores. Já MATOS (1988) não observou influência dos maiores teores de umidade sobre a ligação interna.

FIGURA 9 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE: a) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO LONGITUDINAL, b) MÓDULO DE RUPTURA NO SENTIDO TRANSVERSAL, c) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO LONGITUDINAL, d) MÓDULO DE ELASTICIDADE NO SENTIDO TRANSVERSAL

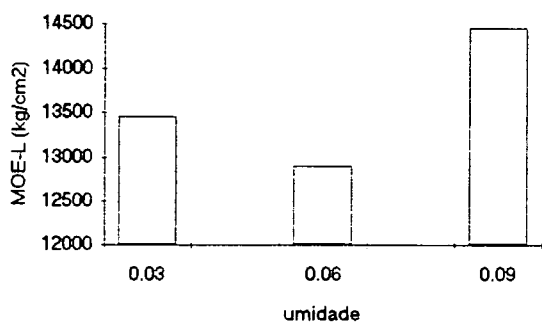
a)



b)



c)



d)

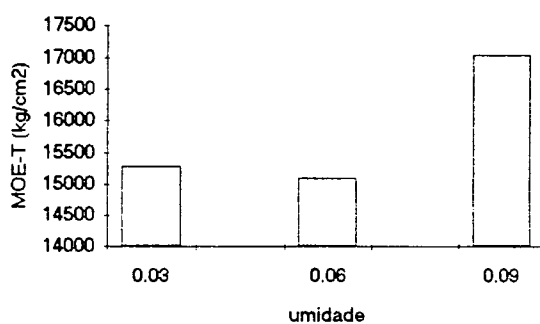
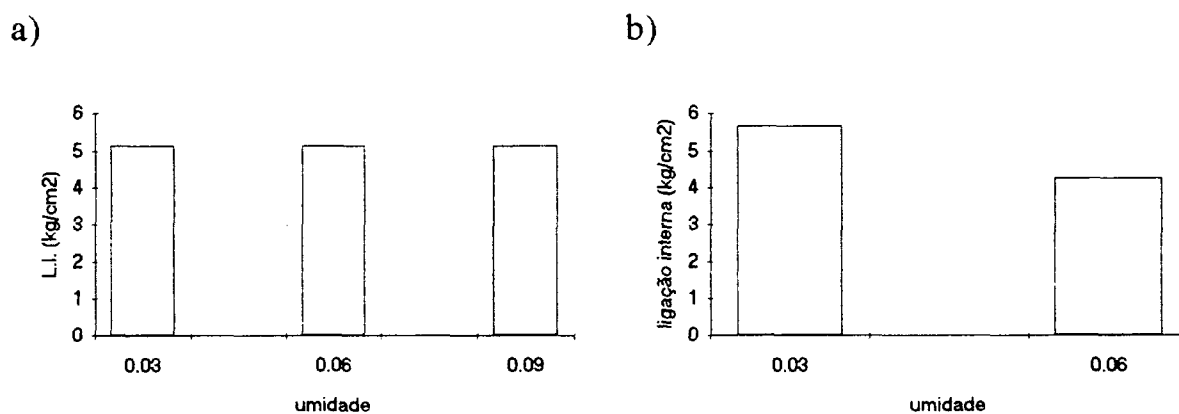


FIGURA 10 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE A LIGAÇÃO INTERNA.:

a) TRATAMENTOS COM 12 MINUTOS DE PrensAGEM, b)

TRATAMENTOS COM 8 E 12 MINUTOS DE PrensAGEM



Comparação de resultados

Comparando-se os resultados do módulo de ruptura no sentido longitudinal com os valores exigidos pela norma comercial americana CS 236-66 (Anexo 8) verifica-se que 33% dos tratamentos atingiram os valores mínimos. Estes tratamentos foram: 9% de umidade, com e sem parafina e 12 minutos de prensagem; 6% de umidade, com parafina e doze minutos de prensagem; 3% de umidade, com parafina e 4 minutos de prensagem.

Os resultados do módulo de ruptura no sentido transversal foram melhores do que os resultados obtidos para o módulo de ruptura no sentido longitudinal, uma vez que no primeiro caso 33% dos tratamentos atingiram os valores

mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-66, enquanto que no segundo caso este índice foi de 67%. Estes tratamentos foram: 3% de umidade, com e sem parafina, 4 e 8 minutos de prensagem; 3% de umidade, com parafina e 4 minutos de prensagem; 3% de umidade, com e sem parafina e 8 minutos de prensagem; 6% de umidade, sem parafina e 8 minutos de prensagem; 6% de umidade, com parafina e 12 minutos de prensagem; 9% de umidade, com e sem parafina e 12 minutos de prensagem.

Os valores obtidos para o módulo de elasticidade no sentido longitudinal e transversal foram inferiores aos valores mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-66, enquanto que os resultados de ligação interna em 80% dos casos superaram o mínimo exigido pela mesma norma.

5.2.2 Resistência ao arrancamento de parafuso

Os resultados de resistência ao arrancamento de parafuso normal à face, paralelo à face transversal e paralelo à face longitudinal são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO (kg)

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S ¹			p ²			S ¹		p ²		S ¹	p ²
TEMPO(min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
APNF	111,22 cd	127,36 abc	144,14 a	117,28 cd	111,56 cd	101,20 d	125,49 abc	121,27 bc	98,67 d	108,68 cd	127,23 abc	139,19 ab
APPFL	97,96 bc	107,10 ab	123,28 a	104,03 b	91,72 bc	85,99 c	95,63 bc	104,40 b	65,78 d	90,14 bc	93,44 bc	99,23 bc
APPFT	95,11 c	110,58 abc	122,55 a	106,81 abc	99,41 bc	97,04 bc	103,45 abc	117,29 ab	93,44 c	98,41 bc	110,73 abc	118,99 ab

¹ TEOR DE PARAFINA - 0%

² TEOR DE PARAFINA - 1%

Os resultados de resistência ao arrancamento de parafuso não apresentaram uma tendência definida, da mesma forma que os ensaios de flexão estática e ligação interna.

Os melhores resultados de resistência ao arrancamento de parafuso normal à face (APNF) foram apresentados pelo tratamento com 3% de umidade, sem parafina e 12 minutos de prensagem, o qual não apresentou diferença significativa dos tratamentos com 9% de umidade, com e sem parafina e 12 minutos de prensagem; 3% de umidade, sem parafina e 8 minutos de prensagem; 6% de umidade, sem parafina e 8 minutos de prensagem, mas apresentou diferença dos demais tratamentos.

O melhor tratamento para a resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face longitudinal (APPFL) foi 3% de umidade, sem parafina e 12 minutos de prensagem, o qual não apresentou diferença significativa do tratamento com 3% de umidade, sem parafina e 8 minutos de prensagem. Em relação aos demais tratamentos houve diferença significativa.

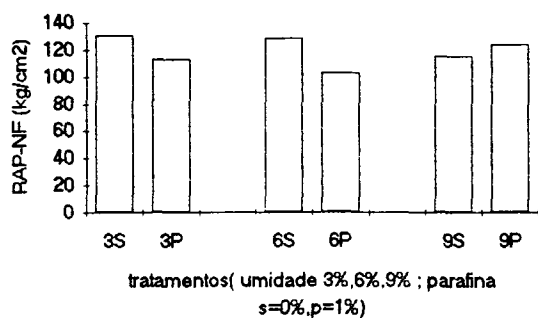
O melhor tratamento para a resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face transversal (APPFT) foi 3% de umidade, sem parafina e 12 minutos de prensagem, o qual não apresentou diferença significativa dos tratamentos 9% de umidade, com e sem parafina e 12 minutos de prensagem; 6% de umidade, sem parafina, 8 e 12 minutos de prensagem; 3% de umidade, sem parafina e 8 minutos de prensagem; 3% de umidade, com parafina e 4 minutos de prensagem. Em relação aos demais tratamentos houve diferença significativa.

Parafina

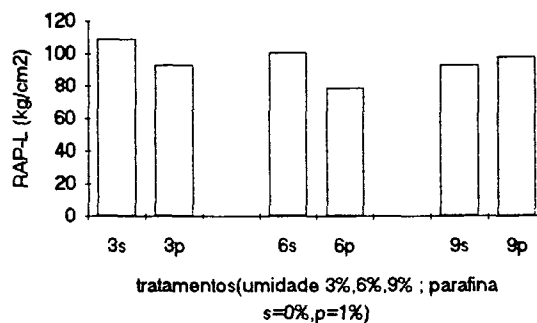
A influência da parafina foi semelhante para os três ensaios de arrancamento de parafuso (Figura 14). Para 3% e 6% de umidade, os tratamentos sem parafina foram significativamente superiores em resistência àqueles com parafina. Para 9% de umidade os tratamentos com parafina foram superiores àqueles sem parafina, mas não houve diferença significativa entre os mesmos. Esses resultados indicam que para os teores de umidade mais baixos a presença da parafina interferiu de maneira negativa, enquanto que para os teores mais altos (9%) o efeito de 1% de parafina deve ter-se diluído, não acarretando assim, influência no resultado dos tratamentos.

FIGURA 11 - INFLUÊNCIA DA PARAFINA SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE LONGITUDINAL, c) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE TRANSVERSAL

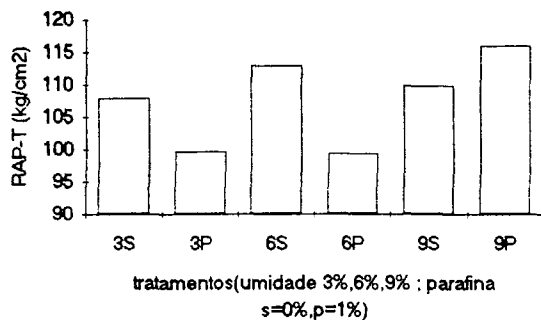
a)



b)



c)



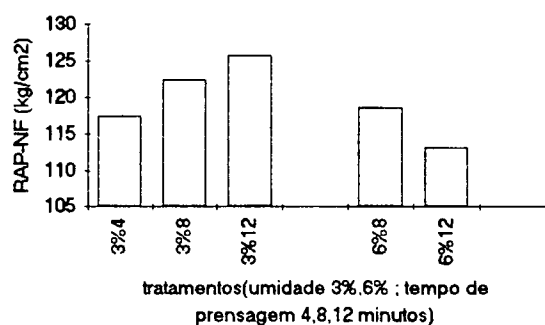
Tempo

Em relação à resistência ao arrancamento de parafuso normal à face, os maiores tempos de prensagem apresentaram maiores valores de resistência ao arrancamento de parafuso para os tratamentos com 3% de umidade. Para 6% de umidade a tendência foi inversa. Contudo, não houve diferença significativa em nenhum dos casos (Figura 15a).

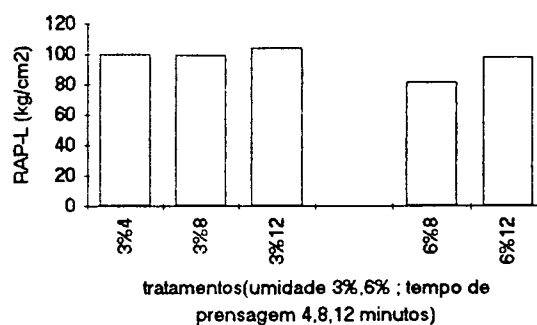
A resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face longitudinal e transversal apresentaram uma tendência em aumentar com o aumento no tempo de prensagem (Figuras 15b e 15c). Para o sentido longitudinal não houve diferença significativa entre os tempos de prensagem quando o teor de umidade foi de 3%. Entretanto, para o teor de umidade de 6% os tratamentos com 12 minutos de prensagem foram superiores àqueles com 8 minutos, de maneira significativa. Para o sentido transversal, a influência dos tempos de prensagem não foi significativa em nenhum dos casos.

FIGURA 12 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PRENSAGEM SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE LONGITUDINAL, c) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE TRANSVERSAL

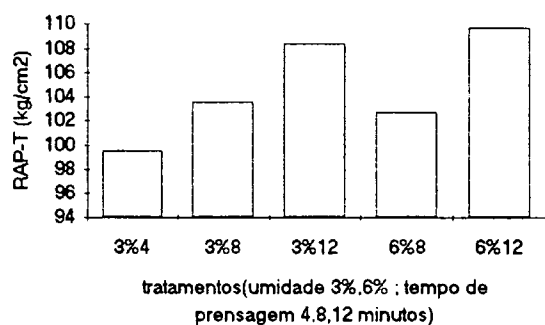
a)



b)



c)

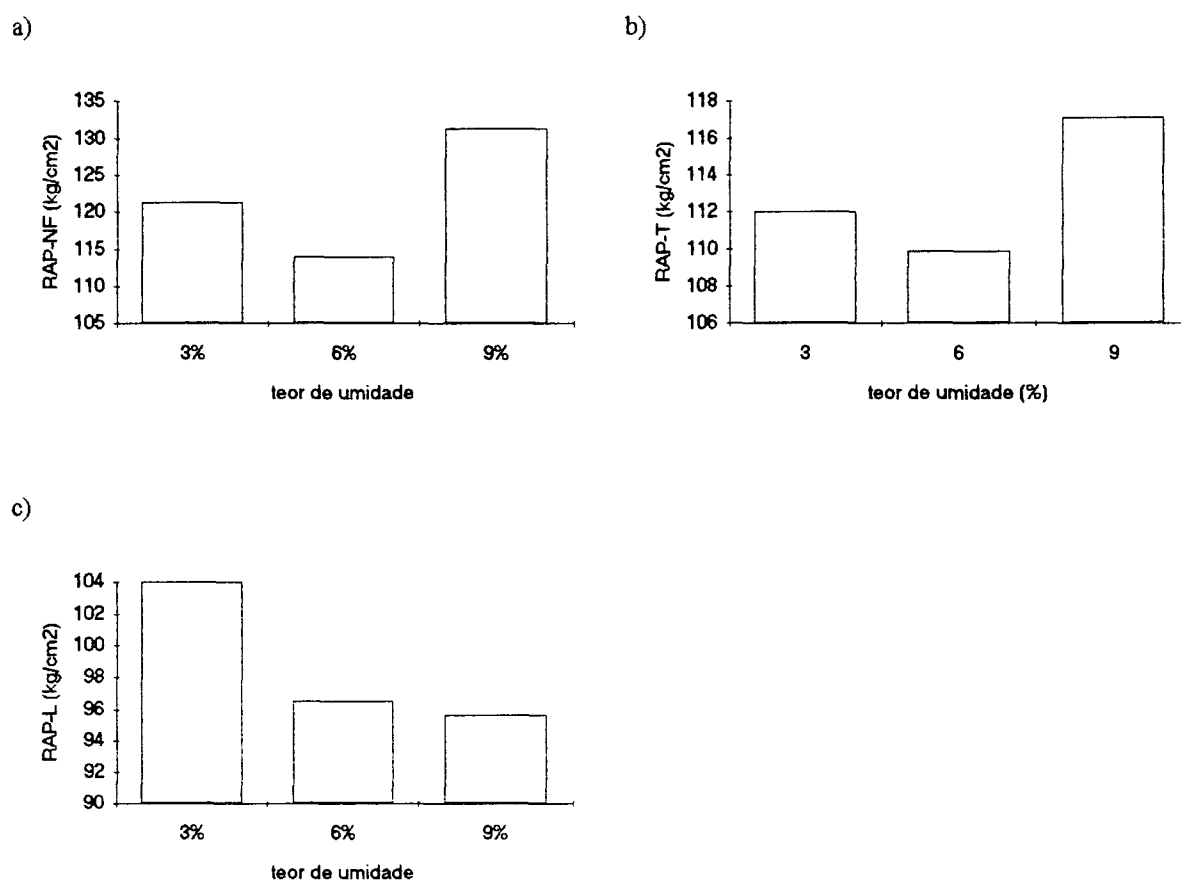


Umidade

Os resultados da resistência ao arrancamento de parafuso normal à face e paralelo à face transversal não apresentaram uma tendência definida (Figuras 16a e 16b). Para os dois casos os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos com 9% de umidade, seguidos dos tratamentos com 3% de umidade e por fim 6% de umidade. No ensaio normal à face houve diferença significativa entre os três teores de umidade. No ensaio paralelo à face transversal não houve diferença significativa entre os teores de umidade.

Os resultados obtidos para a resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face longitudinal apresentaram comportamento diferente daquele apresentado pelos ensaios anteriores. Neste caso, houve uma tendência da resistência diminuir com o aumento no teor de umidade (Figura 16c). Os tratamentos com 3% de umidade diferiram significativamente dos tratamentos com 6% e 9% de umidade. Entre estes dois últimos não houve diferença significativa. MATOS (1988) observou que partículas com maior teor de umidade não afetaram a resistência ao arrancamento de parafuso.

FIGURA 13 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE TRANSVERSAL, c) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO PARALELO À FACE LONGITUDINAL



Comparação de resultados

Os valores obtidos para a resistência ao arrancamento de parafuso normal à face foram em 83% dos casos superiores ao valor mínimo estabelecido pela

norma americana CS 236-66 (Anexo 8) que é de 102,06 kg/cm², chegando a atingir valores tão altos quanto 144,14 kg/cm².

Em relação à resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face transversal os resultados podem ser considerados excelentes, uma vez que todos os resultados encontrados ultrapassaram o mínimo exigido pela norma americana CS 236-66 que é de 72,38 kg.

A resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face longitudinal em 92% dos casos superou o mínimo estabelecido pela norma comercial americana CS 236-66. A única exceção foi observada para o tratamento com 6% de umidade, 1% de parafina e 8 minutos de prensagem.

5.2.3 Resistência ao arrancamento de prego

Os resultados de resistência ao arrancamento de prego normal à face e lateral são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE E LATERAL (kg)

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	s ¹			p ²			s ¹		p ²		s ¹	p ²
TEMPO (min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
RPRE-N	20,60 ab	26,68 a	26,13 a	21,26 ab	19,84 ab	18,60 ab	20,67 ab	22,71 ab	15,61 b	19,33 ab	21,37 ab	20,60 ab
RPRE-L	176,44 c	205,98 a	190,95 abc	203,11 ab	204,56 ab	168,54 cd	178,91 bc	178,97 bc	150,06 d	193,10 abc	192,19 abc	204,19 ab

¹ TEOR DE PARAFINA - 0%

² TEOR DE PARAFINA - 1%

Os resultados de resistência ao arrancamento de prego normal à face (RPRE-L) e lateral (RPRE-L) não apresentaram uma tendência bem definida. Os melhores resultados de resistência ao arrancamento de prego normal à face foram apresentados pelos tratamentos com 3% de umidade, sem parafina e 8 minutos de prensagem, os quais apresentaram diferença significativa somente dos tratamentos com 6% de umidade, com parafina e 8 minutos de prensagem, em relação aos demais tratamentos não houve diferença significativa.

Em relação à resistência ao arrancamento de prego lateral os tratamentos com 3% de umidade, sem parafina e 8 minutos de prensagem também foram os melhores. Estes tratamentos não apresentaram diferença significativa dos tratamentos com 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-com parafina-4 minutos de prensagem, 3% de umidade-com parafina-8

minutos de prensagem, 6% de umidade-com parafina-12 minutos de prensagem, 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 9% de umidade-com parafina-12 minutos de prensagem. Diferença significativa só ocorreu entre os tratamentos com 3% de umidade-sem parafina- 8 minutos de prensagem e os tratamentos com 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem, 3% de umidade-com parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 6% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-com parafina-8 minutos de prensagem.

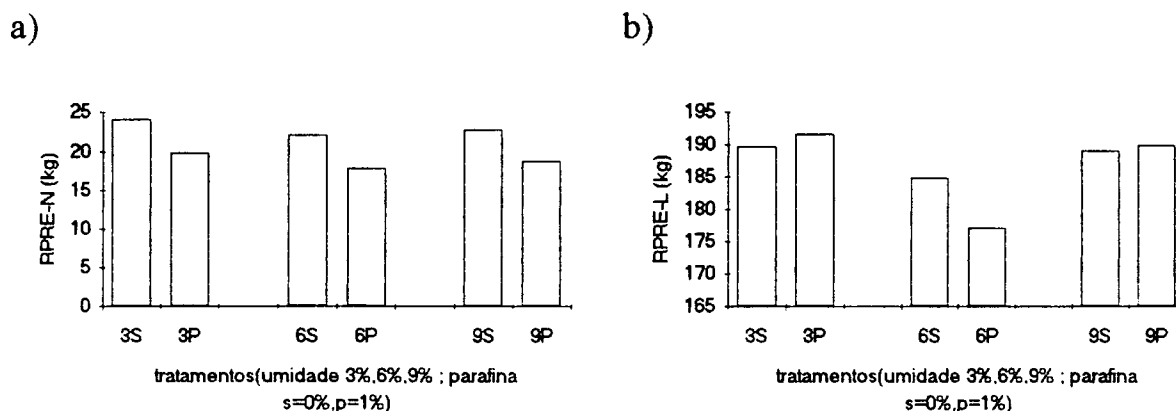
Em relação a estas propriedades não foi encontrado referência na literatura.

Parafina

A resistência ao arrancamento de prego normal à face foi menor para os tratamentos que continham parafina quando comparados com aqueles sem parafina. Entretanto, só houve diferença significativa entre os tratamentos com 6% de umidade. Neste caso a parafina foi prejudicial (Figura 17a).

A resistência ao arrancamento de prego lateral não apresentou uma tendência definida em relação à parafina, como também não houve diferença significativa entre os tratamentos sem parafina e com parafina (Figura 17b).

FIGURA 14 - INFLUÊNCIA DE PARAFINA SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO LATERAL



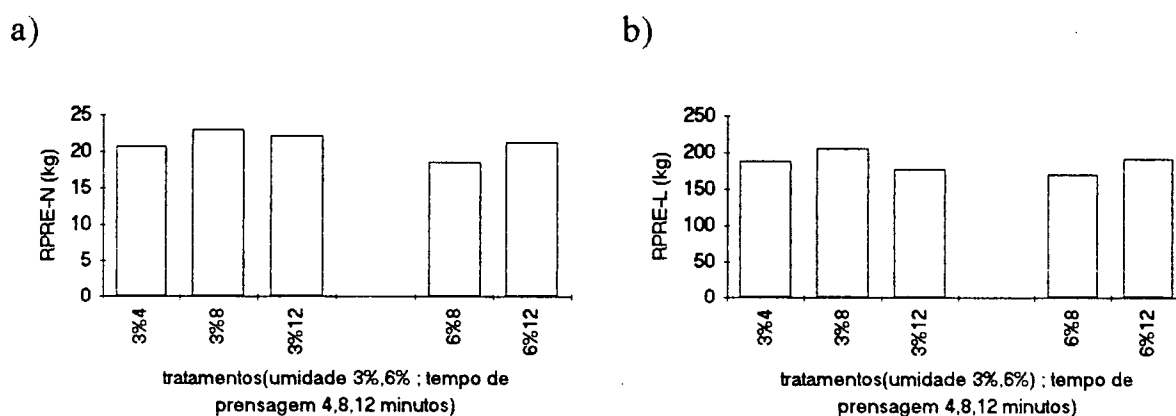
Tempo de prensagem

A resistência ao arrancamento de prego normal à face não sofreu influência significativa dos diferentes tempos de prensagem em relação aos tratamentos com 3% de umidade. Na medida em que o teor de umidade dos tratamentos foi aumentado para 6%, o tempo de 12 minutos de prensagem apresentou resultados mais altos para esta propriedade e diferiu significativamente do tempo de 8 minutos (Figura 18a). Neste caso, os tratamentos com 6% de umidade requereram maior tempo de prensagem para que a umidade fosse eliminada e permitisse a cura mais completa do adesivo.

A resistência ao arrancamento de prego lateral não apresentou uma tendência bem definida em relação ao tempo de prensagem. Para os tratamentos com 3% de umidade o tempo de prensagem de 8 minutos foi significativamente melhor do que os tempos de 4 e 12 minutos e o tempo de 4 minutos foi, por sua vez, melhor do que 12 minutos (Figura 18b). Para os tratamentos com 6% de umidade o tempo de prensagem de 12 minutos foi

significativamente melhor do que o tempo de 8 minutos. Para os tratamentos com menor teor de umidade (3%) o tempo de prensagem intermediário apresentou o melhor resultado, significando que o tempo de 4 minutos foi pouco e o tempo de 12 minutos excessivo. Quando o teor de umidade foi aumentado para 6% requereu-se tempo de prensagem maior para permitir a liberação da umidade e com isto, aumentar a cura do adesivo.

FIGURA 15 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PRENSAGEM SOBRE: a) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE, b) RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO LATERAL



Teor de umidade

Quando a análise se baseou nos tratamentos com o tempo de prensagem de 12 minutos, não foi observado diferença significativa devido ao aumento no teor de umidade, apesar da diminuição na resistência ao arrancamento de prego normal à face (Figura 19a). Entretanto, quando agrupou-se os tratamentos com os tempos de prensagem de 8 e 12 minutos, os tratamentos com 3% de umidade foram significativamente superiores àqueles com 6% de umidade. Incluindo-se na análise um tempo de prensagem mais curto (8 minutos) acentuou-se a

diferença entre os tratamentos com 3% e 6% de umidade, de tal forma que passasse a existir diferença significativa entre os mesmos.

Para a resistência ao arrancamento de prego lateral os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos com 9% de umidade, os quais não apresentaram diferença significativa dos tratamentos com 6% de umidade, porém diferiram dos tratamentos com 3% de umidade, quando a análise foi baseada somente nos tempos de prensagem de 12 minutos (Figura 19b). Na análise feita para os tratamentos com 3% e 6% de umidade, 0 e 1% de parafina, 8 e 12 minutos de prensagem, houve uma inversão de tendências, uma vez que os tratamentos com 3% de umidade foram significativamente superiores àqueles com 6% de umidade. Esta inversão ocorreu porque na primeira análise levou-se em consideração somente os tratamentos com o tempo de prensagem de 12 minutos, os quais foram baixos quando o teor de umidade era de 3%, enquanto que, para 6% de umidade os tratamentos com 12 minutos de prensagem apresentaram valores mais altos. Já na segunda análise foi considerado também, além do tempo de 12 minutos de prensagem, o tempo de 8 minutos que possibilitou a obtenção dos melhores valores de resistência ao arrancamento de prego lateral para os tratamentos com 3% de umidade.

FIGURA 16 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE: a) TRATAMENTOS COM 12 MINUTOS DE PENSAGEM, b) TRATAMENTOS COM 8 E 12 MINUTOS DE PENSAGEM

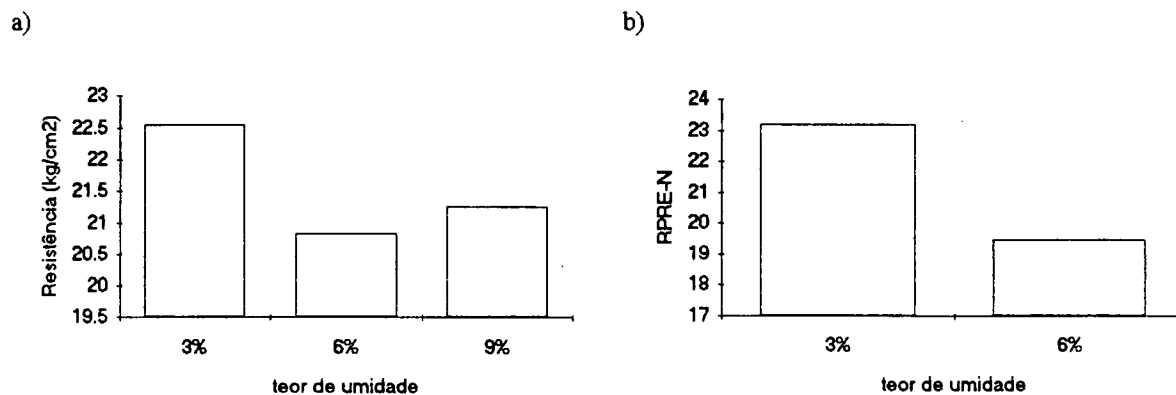
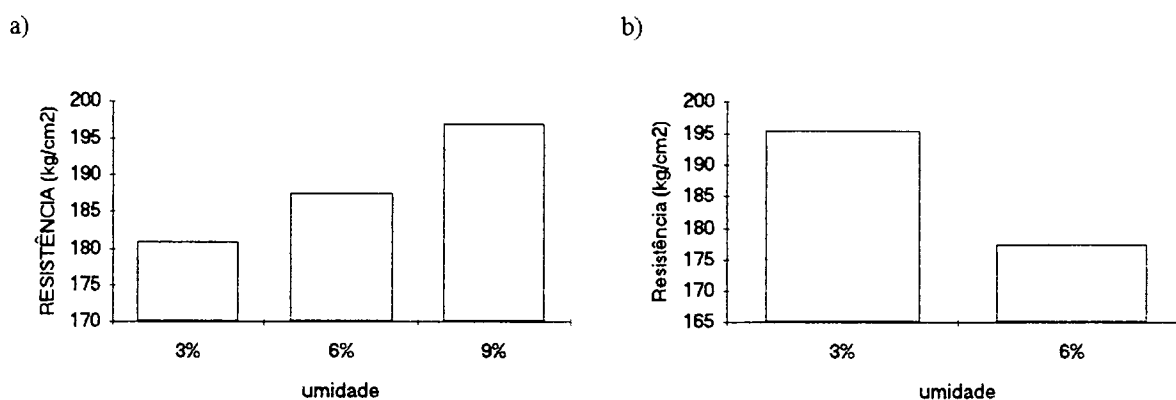


FIGURA 17 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PREGO LATERAL: a) TRATAMENTOS COM 12 MINUTOS DE PENSAGEM, b) TRATAMENTOS COM 8 E 12 MINUTOS DE PENSAGEM



5.2.4 Absorção de água e inchamento em espessura

Os resultados de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO (%)

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	s ¹			p ²			s ¹		p ²		s ¹	p ²
TEMPO(min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
AA2	69,91 a	66,74 ab	62,64 b	4,53 c	3,92 c	4,13 c	65,41 ab	60,84 b	5,41 c	6,17 c	62,60 b	1,98 c
AA24	80,08 a	76,50 ab	72,97 b	10,35 d	11,62 d	12,31 d	74,23 b	72,13 b	23,54 c	22,80 c	72,87 b	19,23 c
IE2	19,86 a	18,20 a	17,64 ab	5,94 c	6,43 c	6,75 c	17,92 ab	17,39 ab	6,62 c	5,41 c	15,14 b	5,87 c
IE24	23,16 a	21,58 a	21,05 ab	10,66 c	11,58 c	12,25 c	21,05 ab	20,65 ab	12,94 c	10,23 c	17,98 b	10,02 c

¹ TEOR DE PARAFINA - 0%

² TEOR DE PARAFINA - 1%

Os resultados para o ensaio de absorção de água não apresentaram uma tendência bem definida. A menor absorção de água após 2 horas de imersão (AA2) foi para o tratamento com 9% de umidade-1% parafina-12 minutos de prensagem. Este tratamento não apresentou diferença significativa dos tratamentos com 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de

parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, em relação aos demais tratamentos houve diferença significativa.

Após 24 horas de imersão a menor absorção de água foi para o tratamento 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, o qual não apresentou diferença significativa dos tratamentos 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem. Estes tratamentos apresentaram diferença significativa dos demais tratamentos.

O melhor resultado de inchamento em espessura após 2 horas de imersão foi apresentado pelo tratamento 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, o qual não apresentou diferença significativa dos tratamentos 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem. Em relação aos demais tratamentos houve diferença significativa.

Após 24 horas de imersão o melhor resultado de inchamento em espessura (AA24) foi apresentado pelo tratamento 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, o qual não apresentou diferença significativa dos tratamentos 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem. Em relação aos demais tratamentos houve diferença significativa.

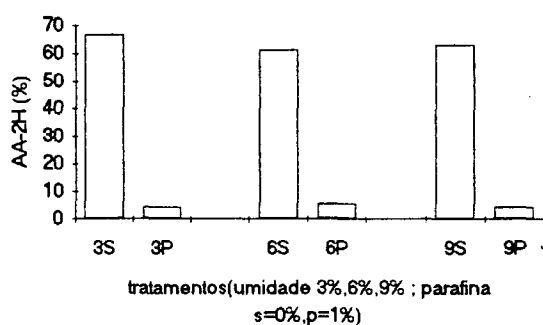
Esta falta de definição dos resultados pode ser devido à grande variação de geometria existente nas maravalhas. A influência da geometria de partículas também foi observada por HALLIGAN (1970), LEWIS (1971) e MOSLEMI (1974).

Parafina

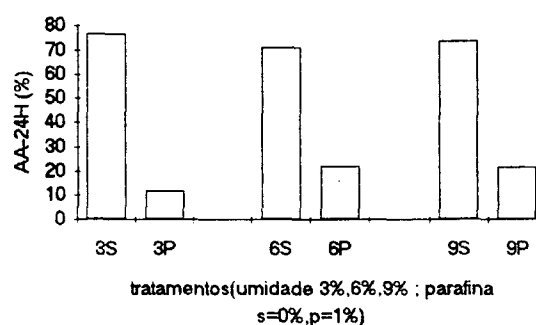
O fator parafina teve um efeito significativo na redução da absorção de água para todos os casos, tanto para os resultados de absorção de água como inchamento em espessura, para 2 e 24 horas de imersão (Figura 21). Este comportamento também foi observado por GATCHELL, HEEBINK E HEFTY (1966), MALONEY (1977), MATOS (1988), PEREDO e TORRES (1991).

FIGURA 18 - INFLUÊNCIA DE PARAFINA SOBRE: a) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, b) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO, c) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, d) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO

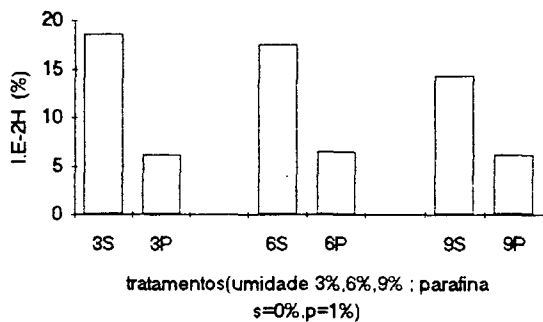
a)



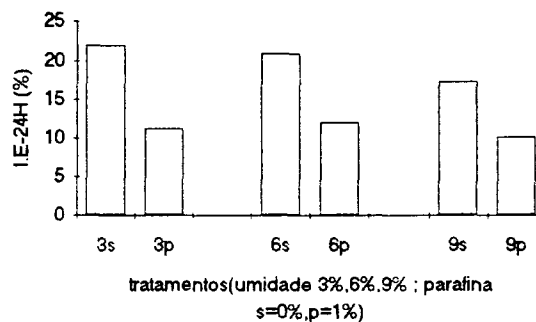
b)



c)



d)



Tempo de prensagem

A absorção de água para 2 e 24 horas de imersão apresentou uma tendência em diminuir com o aumento no tempo de prensagem, para os tratamentos com 3% de umidade, onde os tratamentos com 4 e 8 minutos de prensagem não apresentaram diferença significativa entre si. Os tratamentos com

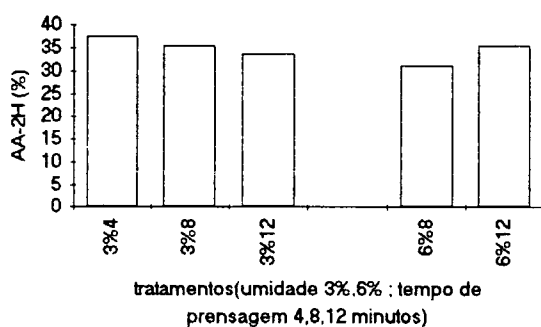
4 minutos de prensagem foram significativamente diferentes dos tratamentos com 12 minutos de prensagem. Para os tratamentos com 6% de umidade os maiores valores de absorção de água foram obtidos para os tratamentos com 12 minutos de prensagem, porém não houve diferença significativa entre eles (Figuras 22a, 22b).

O inchamento em espessura para 2 e 24 horas de imersão não apresentou tendência definida, bem como não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos (Figuras 22c, 22d).

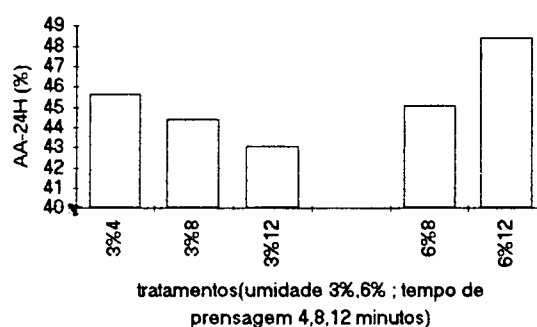
Os resultados encontrados na literatura também são conflitantes. RICE E CAREY (1978) encontraram como melhor tempo de prensagem para reduzir o inchamento o tempo de 15 minutos. STRICKLER (1959) observou que o ciclo de prensa não afeta a taxa de absorção de água. Já HALLIGAN (1970) afirma que as condições de prensagem podem afetar o inchamento em espessura.

FIGURA 19 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE Prensagem SOBRE:
 a) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO,
 b) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO,
 c) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO,
 d) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO

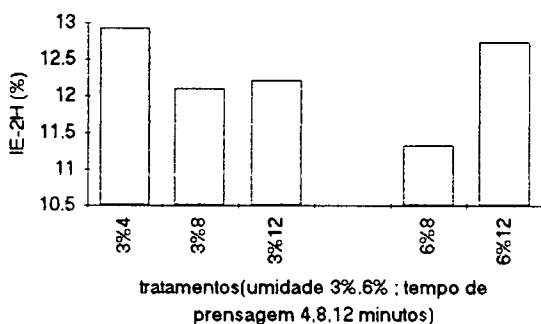
a)



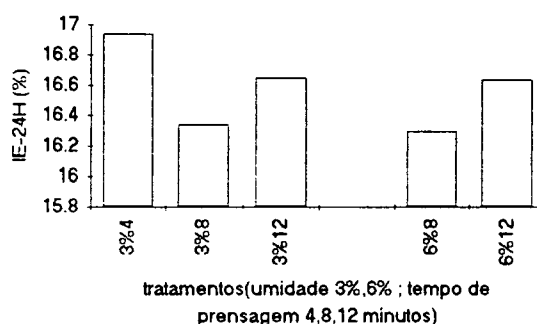
b)



c)



d)



Teor de umidade

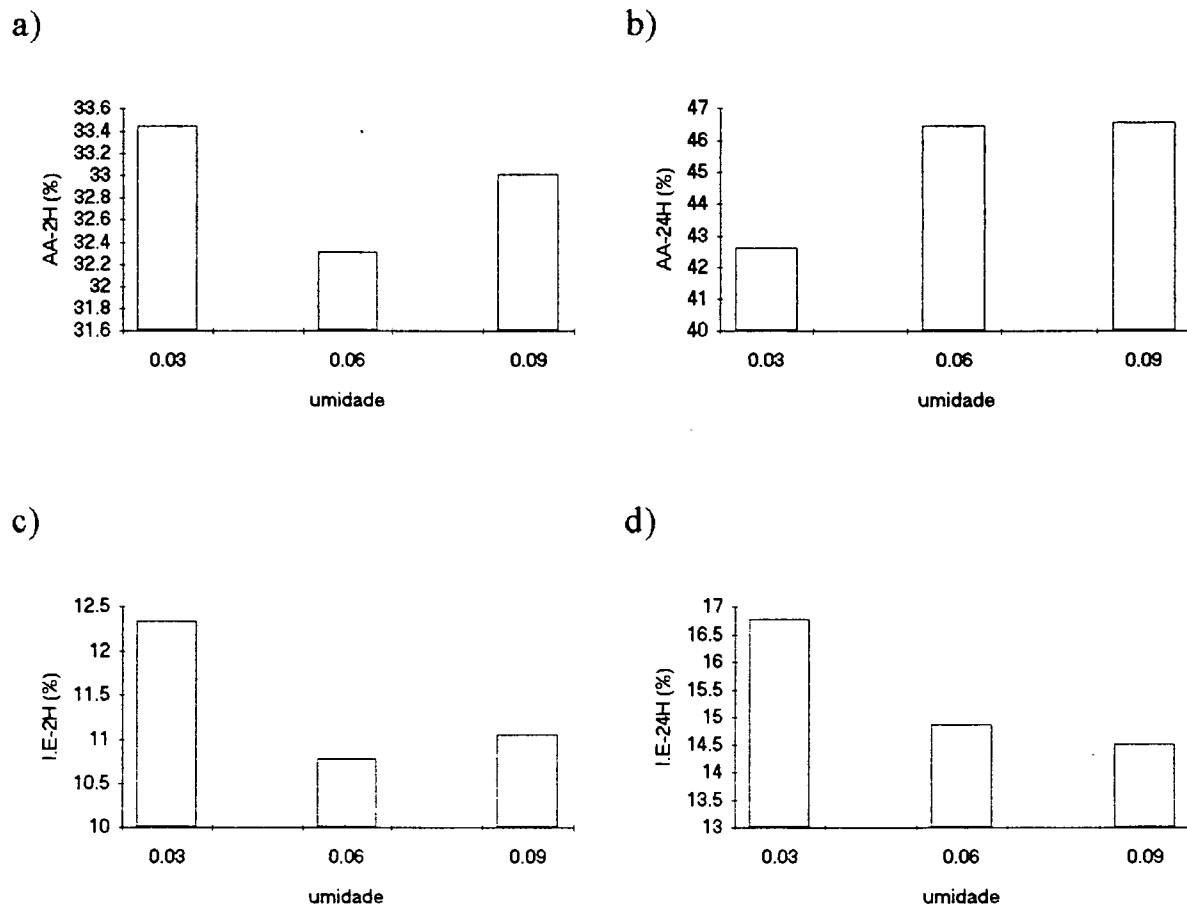
A absorção de água e o inchamento em espessura para 2 horas de imersão apresentaram comportamento semelhante. Os maiores valores foram obtidos para os tratamentos com 3% de umidade, seguidos dos tratamentos com 9% de umidade. Os menores valores foram obtidos para os tratamentos com

6% de umidade (Figuras 23a, 23c). Entretanto, não houve diferença significativa entre nenhum dos tratamentos.

A absorção de água após 24 horas de imersão apresentou uma tendência em aumentar com o aumento no teor de umidade. Os tratamentos com 9% de umidade não apresentaram diferença significativa dos tratamentos com 6% de umidade e ambos, apresentaram diferença dos tratamentos com 3% de umidade (Figura 23b). Para o inchamento em espessura após 24 horas de imersão houve uma tendência inversa à apresentada anteriormente, ou seja, maiores teores de umidade menores valores de inchamento em espessura (Figura 23d). Os tratamentos com 3% de umidade diferiram significativamente dos tratamentos com 6% e 9% de umidade, os quais não apresentaram diferença entre si.

Assim como para o tempo de prensagem, os resultados encontrados para o conteúdo de umidade também são conflitantes. GATCHELL, HEEBINK E HEFTY (1966) não encontraram influência do conteúdo de umidade sobre a estabilidade dimensional. Já MATOS (1988) observou que chapas com um teor de umidade mais elevado apresentaram maior estabilidade dimensional. WINISTORFER E DICARLO (1988) observaram que o inchamento em espessura aumentou com o aumento no conteúdo de umidade da massa. DOOSTHOSEINI (1987) e STRICKLER (1959) não encontraram efeito significativo do conteúdo de umidade da massa sobre a resistência à água

FIGURA 20 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE: a) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, b) ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO, c) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO, d) INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO



5.2.4.1 Comparação entre absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão

Os resultados apresentados pelos tratamentos com 24 horas de imersão foram maiores do que aqueles com 2 horas de imersão e significativamente diferentes para todos os casos.

TABELA 6 - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO (%)

TRAT	2S	24S	24S-2S	2P	24P	24P-2P	2S-2P	24S-24P
3%4MIN	69,91	80,08	10,17	4,53	10,35	5,82	65,38	69,73
3%8MIN	66,74	76,50	9,76	3,92	11,62	7,70	62,82	64,88
3%12MIN	62,64	72,97	10,33	4,13	12,31	8,18	58,51	60,66
6%8MIN	65,41	74,23	8,82	5,41	23,54	18,13	60,00	50,69
6%12MIN	60,84	72,13	11,29	6,17	22,8	16,63	54,67	49,33
9%12MIN	62,6	72,87	10,27	1,98	19,23	17,25	60,62	53,64
MÉDIA	64,69	74,80	10,11	4,36	16,64	12,29	60,33	58,16

S - sem parafina

P - 1% de parafina

% - teor de umidade

MIN - tempo de prensagem

Em relação à absorção de água pode-se observar na Tabela 6 que a diferença entre as médias dos tratamentos para 24 e 2 horas de imersão sem parafina foi de 10,11% e quando observa-se a mesma diferença para os tratamentos com parafina verifica-se que foi de 12,29%, isto é, houve um incremento na absorção de 2,18% para os tratamentos com parafina. Por outro

lado, a diferença entre as médias dos tratamentos para 2 horas de imersão sem e com parafina foi de 60,33% e para o tempo de imersão de 24 horas foi 58,16%, ocorrendo portanto, uma redução na diferença para o tempo de 24 horas. Isto demonstra que os tratamentos com parafina perdeu um pouco de sua eficiência com o aumento no tempo de imersão. Este comportamento também foi verificado para O inchamento em espessura (Tabela 7). Resultados semelhantes foram encontrados por GATCHELL, HEEBINK e HEFTY (1966), PEREDO e TORRES (1991).

TABELA 7 - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO (%)

TRAT	2S	24S	24S-2S	2P	24P	24P-2P	2S-2P	24S-24P
3%4MIN	19,86	23,16	3,30	5,94	10,66	4,72	13,92	12,50
3%8MIN	18,2	21,58	3,38	6,43	11,58	5,15	11,77	10,00
3%12MIN	17,64	21,05	3,41	6,75	12,25	5,50	10,89	8,80
6%8MIN	17,92	21,05	3,13	6,62	12,94	6,32	11,3	8,11
6%12MIN	17,39	20,65	3,26	5,41	10,23	4,82	11,98	10,42
9%12MIN	15,14	17,98	2,84	5,87	10,02	4,15	9,27	7,96
MEDIA	17,69	20,91	3,22	6,17	11,28	5,11	11,52	9,63

S - Sem parafina

P - 1% de parafina

% - Teor de umidade

min - tempo de prensagem

5.2.5 Gradiente de densidade

O gradiente de densidade teve um perfil relativamente uniforme para as chapas produzidas neste trabalho, isto é, a densidade não variou muito entre o centro e a superfície. Na Figura 24 tem-se uma visão geral das curvas correspondentes aos doze tratamentos efetuados. Nesta figura pode-se observar que a densidade das chapas foi maior na parte intermediária entre a superfície e o centro, sendo que nas superfícies e no centro a densidade foi menor para todos os casos. Outra observação que se pode fazer sobre as Figuras 24, 25, 26, e 27 é que houve um percentual maior de espessura com densidades mais elevadas na parte intermediária superior das chapas do que na parte inferior das mesmas. HEEBINK, LEHMANN E HEFTY (1972) também encontraram perfil de densidade semelhante ao encontrado neste trabalho. Este comportamento que provavelmente ocorreu devido ao deslocamento da prensa, pode ter sido o responsável pelo empenamento ocorrido nas chapas logo após a prensagem. Este empenamento foi solucionado com a armazenagem das chapas sobrepostas umas às outras. A análise estatística entre os conjuntos de dados correspondentes a cada curva demonstrou não haver diferença significativa entre as mesmas. Algumas diferenças ocorreram quando a análise foi feita para as médias correspondentes a cada posição relativa. Para as três primeiras posições relativas da superfície 1 ocorreram as maiores variações de densidade relativa, enquanto que para as outras posições relativas, incluindo a superfície 2, praticamente não ocorreu variação da densidade relativa.

Analisando-se os resultados dos ensaios apresentados anteriormente verifica-se que a densidade relativa isoladamente não explica o comportamento dos mesmos. Porém, como houve algumas posições relativas em que a densidade apresentou diferença em relação a outras posições, o mais provável é que o somatório desses efeitos com outras variáveis como granulometria de partículas,

FIGURA 22 - EFEITO DO TEMPO DE Prensagem NO GRADIENTE DE DENSIDADE

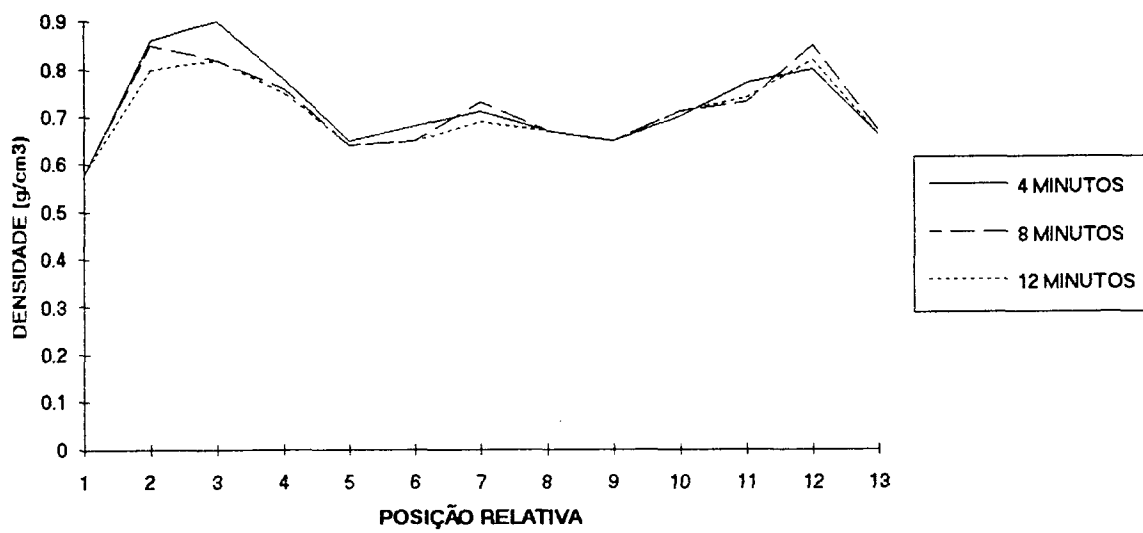


FIGURA 23 - EFEITO DA ADIÇÃO DE PARAFINA NO GRADIENTE DE DENSIDADE

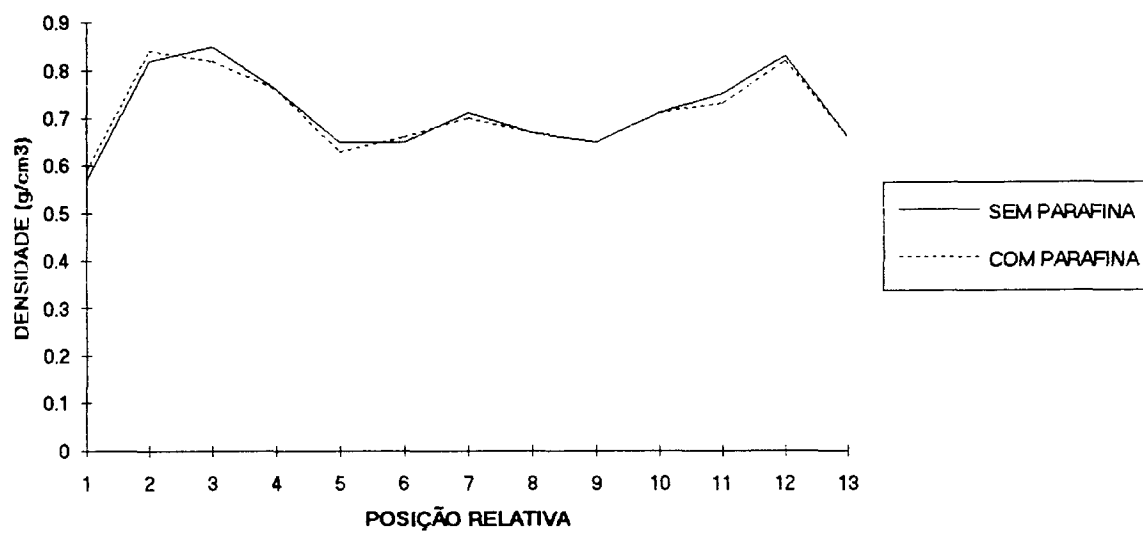
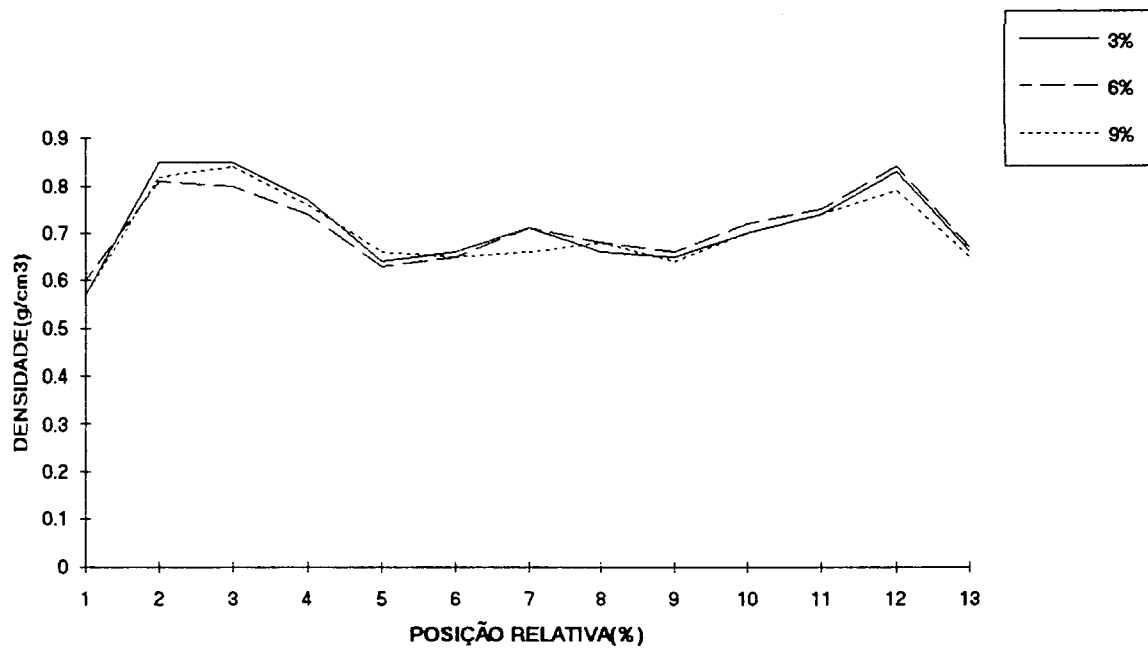


FIGURA 24 - EFEITO DO TEOR DE UMIDADE NO GRADIENTE DE DENSIDADE



5.2.5.1 Superfície 1

Os valores obtidos para a densidade relativa média para a superfície 1 são apresentados na tabela 8.

TABELA 8 - DENSIDADE RELATIVA MÉDIA (g/cm³)

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S			P			S		P		S	P
TEMPO(min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
POSREL 1	0,58	0,57	0,52	0,57	0,55	0,63	0,61	0,58	0,59	0,62	0,58	0,55
POSREL 2	0,81	0,88	0,77	0,90	0,88	0,85	0,87	0,76	0,78	0,81	0,81	0,82
POSREL 3	0,95	0,85	0,80	0,84	0,81	0,86	0,87	0,75	0,76	0,81	0,85	0,83
POSREL 4	0,76	0,76	0,73	0,80	0,81	0,78	0,78	0,73	0,70	0,74	0,79	0,73
POSREL 5	0,64	0,66	0,61	0,66	0,62	0,66	0,66	0,62	0,61	0,62	0,68	0,63
POSREL 6	0,68	0,65	0,61	0,68	0,67	0,69	0,65	0,66	0,61	0,66	0,65	0,64
POSREL 7	0,70	0,74	0,67	0,71	0,73	0,72	0,75	0,70	0,68	0,71	0,68	0,64

S - 0-% DE PARAFINA

P - 1% DE PARAFINA

Posição relativa 1

O tratamento que apresentou maior densidade relativa foi 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, porém não apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos com 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem, 6% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem. Os tratamentos que diferiram significativamente dos anteriormente citados foram 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem, 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem e 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, sendo

que o tratamento com 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem apresentou o menor valor de densidade relativa. A variação da densidade não apresentou uma tendência definida em relação aos tratamentos utilizados. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem quando analisados individualmente não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis de tratamento.

Posição relativa 2

O tratamento com 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, porém não apresentou diferença significativa dos tratamentos 3% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem e 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem. Os tratamentos 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem e 6% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, diferiram significativamente dos primeiros, onde o tratamento com 6% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem apresentou menor densidade relativa. Na análise dos fatores, o fator umidade teve o nível de 3% com a maior média de densidade, que não diferiu significativamente do nível de 9%. Esses dois níveis diferiram do nível 6% que apresentou a menor média de densidade. O fator parafina não apresentou diferença significativa entre seus níveis. Já o fator tempo teve o nível de 4 minutos apresentando a maior média de densidade, seguido do

nível de 8 minutos. Esses dois níveis não apresentaram diferença significativa entre si, mas sim em relação ao nível de 12 minutos.

Posição relativa 3

O tratamento com 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, porém não foi significativamente diferente dos tratamentos com 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem, 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem e 3% de umidade-1% de parafina-4 minutos de prensagem. Estes por sua vez foram significativamente diferentes dos tratamentos 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem, 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem, 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem, 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem e 6% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem. O nível 3% de umidade apresentou a maior média de densidade, não diferiu significativamente do nível 9% mas sim do nível 6% . O fator parafina não apresentou diferença significativa entre os seus níveis. Já o fator tempo teve o nível de 4 minutos com a maior média de densidade, o qual diferiu significativamente dos níveis de 8 e 12 minutos.

Posição relativa 4

O tratamento com 3% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, mas só foi diferente significativamente do tratamento com 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem. O nível de 3% de umidade apresentou a maior média de

densidade, não apresentou diferença significativa do nível de 9%, mas sim do nível de 6% de umidade. O fator parafina não apresentou diferença significativa entre os seus níveis, assim como o fator tempo de prensagem.

Posição relativa 5

O tratamento com 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, porém não apresentou diferença significativa dos demais tratamentos. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, também não apresentaram diferenças significativas entre os seus níveis.

Posição relativa 6

O tratamento com 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, porém só foi significativamente diferente dos tratamentos com 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem e 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

Posição relativa 7

O tratamento 6% de umidade-sem parafina- 8 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, porém não foi significativamente diferente de nenhum dos outros tratamentos. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

5.2.5.2 Superfície 2

Os valores de densidade relativa média são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 - DENSIDADE MÉDIA AJUSTADA (g/cm^3)

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S			P			S		P		S	P
TEMPO(min)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
POSREL 1	0,66	0,67	0,66	0,66	0,66	0,65	0,66	0,67	0,68	0,67	0,66	0,63
POSREL 2	0,77	0,83	0,82	0,82	0,80	0,92	0,94	0,79	0,81	0,81	0,83	0,75
POSREL 3	0,79	0,72	0,74	0,75	0,74	0,67	0,73	0,77	0,74	0,77	0,74	0,73
POSREL 4	0,70	0,71	0,69	0,69	0,70	0,72	0,70	0,74	0,71	0,71	0,70	0,70
POSREL 5	0,65	0,66	0,63	0,64	0,64	0,66	0,65	0,68	0,64	0,68	0,65	0,62
POSREL 6	0,68	0,65	0,64	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,67	0,69	0,71	0,64

S - 0% DE PARAFINA

P - 1% DE PARAFINA

Posição relativa 1

O tratamento com 6% de umidade-1% de parafina-8 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, porém não foi significativamente diferente de nenhum dos outros tratamentos. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

Posição relativa 2

O tratamento com 6% de umidade-sem parafina-8 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, mas só diferiu significativamente do

tratamento com 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

Posição relativa 3

O tratamento com 3% de umidade-sem parafina-4 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, mas só diferiu significativamente do tratamento com 3% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

Posição relativa 4

O tratamento com 6% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, mas não diferiu significativamente de nenhum dos outros tratamentos. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

Posição relativa 5

O tratamento com 6% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, mas não diferiu significativamente de nenhum dos outros tratamentos. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

Posição relativa 6

O tratamento com 9% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem apresentou a maior densidade relativa, mas só diferiu significativamente dos tratamentos com 3% de umidade-sem parafina-12 minutos de prensagem e 9% de umidade-1% de parafina-12 minutos de prensagem. Os fatores umidade, parafina e tempo de prensagem, não apresentaram diferença significativa entre os seus níveis.

5.3 ENSAIOS COMPLEMENTARES

De posse dos resultados obtidos no ensaio principal e analisadas as propriedades mecânicas verificou-se que alguns tratamentos atingiram os valores mínimos de módulo de ruptura, enquanto que para o módulo de elasticidade os resultados obtidos foram inferiores aos recomendados pela norma americana CS 236-66 (Anexo 8). Em função destes resultados decidiu-se revestir as chapas com lâminas de madeira para verificar os possíveis ganhos que seriam alcançados com esta prática. Para isto foram produzidas 5 chapas a mais a partir do tratamento com 3% de umidade, sem parafina, 4 minutos de prensagem, as quais foram revestidas com lâmina de madeira. Os resultados dos ensaios feitos para estas chapas são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 - RESULTADOS DE ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

ENSAIO	TRATAMENTO	
	NÃO REVESTIDO	REVESTIDO
MOD. DE RUPTURA LONGITUDINAL(kg/cm ²)	107,01	295,62
MÓD. DE ELASTICIDADE LONGITUDINAL(kg/cm ²)	11512,00	31394,39
MÓDULO DE RUPTURA TRANSVERSAL(kg/cm ²)	118,43	97,13
MÓD. DE ELASTICIDADE TRANSVERSAL(kg/cm ²)	13256,00	13562,00
LIGAÇÃO INTERNA (kg/cm ²)	4,29	3,16
ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NORMAL À FACE(kg)	111,22	82,86
ARRANC. DE PARAFUSO PARALELO À FACE TRANSV.(kg)	95,11	78,21
ARRANCAMENTO DE PREGO NORMAL À FACE(kg)	20,60	18,79
ARRANCAMENTO DE PREGO LATERAL(kg)	176,44	198,38
AUMENTO EM PESO - 2 HORAS(%)	69,91	55,31
AUMENTO EM PESO - 24 HORAS(%)	80,08	65,41
AUMENTO EM VOLUME - 2 HORAS(%)	19,86	12,23
AUMENTO EM VOLUME - 24 HORAS(%)	23,16	15,47

Como pode ser observado na Tabela 10, as propriedades que melhoraram destacadamente após o revestimento das chapas foram o módulo de ruptura no sentido longitudinal e o módulo de elasticidade no sentido longitudinal, os quais ultrapassaram com folga os valores mínimos exigidos pela norma americana CS 236-66. As lâminas de madeira que foram coladas na superfície da chapa reforçaram esta região de tal forma que quando a chapa foi submetida ao esforço de compressão na superfície superior e ao esforço de tração na superfície inferior suportou esforços maiores do que as chapas sem revestimento.

Outro tratamento superficial que foi praticado nas chapas com 3% de umidade, sem parafina e 4 minutos de prensagem, foi o revestimento com papel. Este revestimento foi feito após o lixamento das chapas. Os resultados não foram satisfatórios, uma vez que a superfície destas chapas apresentaram muitas irregularidades o que fez com que o papel ficasse todo marcado após o revestimento, o que é denominado industrialmente de "telegrafagem".

6 CONCLUSÕES

1. Experimento preliminar:

- A uniformização de partículas contribuiu para aumentar a resistência das chapas.
- Comparação com a norma CS 236-66 - Em relação ao ensaio de flexão estática este aumento não foi suficiente para alcançar o mínimo exigido pela norma; quanto à ligação interna a melhor uniformização levou os resultados a superarem o mínimo estabelecido pela norma.

2. Experimento principal:

a) Os tratamentos utilizados (umidade, parafina, tempo de prensagem) influenciaram as propriedades das chapas, contudo não foi observado tendência definida quando se analisou a interação dos mesmos. A falta de definição pode ser explicada em parte pela pequena variação de umidade após a aplicação do adesivo, bem como pela grande variação na geometria de partículas;

b) Parafina:

- não teve efeito sobre: módulo de ruptura no sentido longitudinal e transversal, módulo de elasticidade no sentido longitudinal;
- diminuiu a resistência para as seguintes propriedades: módulo de elasticidade no sentido transversal (para os tratamentos com 3% de umidade); ligação interna (para os tratamentos com 6% de umidade); resistência ao arrancamento de parafuso normal à face, paralelo à face transversal e longitudinal, e arrancamento de prego lateral (para os tratamentos com 3% e 6% de umidade); resistência ao arrancamento de prego normal (para os tratamentos com 6%);

-aumentou a resistência para as seguintes propriedades: ligação interna (para os tratamentos com 9% de umidade); resistência à absorção de água e inchamento em espessura (para 2 horas e 24 horas de imersão);

c) Tempo de prensagem:

-não teve efeito sobre: módulo de elasticidade no sentido transversal, ligação interna, resistência ao arrancamento de parafuso normal à face e paralelo à face transversal, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão;

-apresentou maiores valores para os seguintes casos:

--Tratamentos com 3% de umidade: módulo de ruptura no sentido longitudinal (4 minutos); módulo de elasticidade no sentido longitudinal (12 minutos); módulo de ruptura no sentido transversal (4 e 8 minutos); resistência ao arrancamento prego lateral (8 minutos), absorção de água após 2 e 24 horas de imersão (4 e 8 minutos);

--Tratamentos com 6% de umidade: resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face longitudinal, resistência ao arrancamento de prego normal à e lateral à face (12 minutos);

d) Teor de umidade:

-não teve influência nos seguintes casos: módulo de elasticidade no sentido longitudinal e transversal, ligação interna, resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face transversal, resistência ao arrancamento de prego normal à face, absorção de água e inchamento em espessura após 2 horas de imersão;

-apresentou maiores valores para os seguintes casos:

--Tratamentos com 9% de umidade: módulo de ruptura no sentido longitudinal e transversal, resistência ao arrancamento de parafuso normal

à face, resistência ao arrancamento de prego lateral, absorção de água após 24 horas de imersão;

--Tratamentos com 3% de umidade: resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face longitudinal e inchamento em espessura após 24 horas de imersão.

e) A resistência à absorção de água diminuiu quando o tempo de imersão foi aumentado de 2 para 24 horas. Comparando-se os tratamentos com e sem parafina, verifica-se que a mesma perdeu eficiência com o aumento no tempo de imersão em água;

f) Comparação com a norma comercial americana CS 236-66 (NPA):

-Ensaio que superaram o mínimo estabelecido pela norma: módulo de ruptura no sentido longitudinal em 33% e no sentido transversal em 67%; ligação interna em 83%; resistência ao arrancamento de parafuso normal à face em 83%; resistência ao arrancamento de parafuso paralelo à face longitudinal em 92%. Os resultados de módulo de elasticidade, tanto no sentido longitudinal como transversal não atingiram o mínimo estabelecido pela norma;

g) Os resultados de módulo de ruptura demonstraram que o sentido de fabricação exerceu influência sobre os resultados para esta propriedade;

h) As variações observadas no gradiente de densidade não foram suficientes para explicar o comportamento dos resultados dos tratamentos;

3. Experimento complementar:

-O revestimento de chapas demonstrou ser positivo no sentido de melhorar as propriedades da superfície e a resistência à flexão estática no sentido

paralelo às fibras, enquanto que o revestimento com papel não apresentou resultados satisfatórios.

7 RECOMENDAÇÕES

1. A uniformização de maravalhas é prática indispensável para a fabricação de chapas;
2. Para a utilização de chapas semelhantes às produzidas neste trabalho deve-se observar as limitações de resistência à flexão estática, que podem ser resolvidas em parte com o revestimento das chapas com lâminas de madeira;
3. Recomenda-se a utilização de 1% (base peso seco) de parafina para a fabricação de chapas de maravalhas ;
4. Quanto aos fatores umidade de partícula e tempo de prensagem, deve-se estudar cada caso em particular, uma vez que não ocorreu uma regra geral para os mesmos;
5. As chapas produzidas neste trabalho apresentaram resultados interessantes, com exceção das propriedades de flexão estática, principalmente o módulo de elasticidade. Para resolver esta deficiência deve-se desenvolver trabalhos como: revestimento da superfície das chapas com lâminas de madeira de várias espessuras; fabricação de chapas em multicamadas, utilizando-se partículas com melhor geometria na superfície das mesmas; utilizar diferentes níveis de adesivo e umidade entre o miolo e as camadas superficiais das chapas;

ANEXO

ANEXO 1 - DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* (g/cm³)

POSIÇÃO	ÁRVORE					MÉDIA
	1	2	3	4	5	
Base	0,45	0,45	0,44	0,46	0,53	0,47
Meio	0,49	0,43	0,43	0,41	0,46	0,44
Extremo	0,43	0,40	0,43	0,40	0,43	0,42
MÉDIA	0,46	0,43	0,43	0,42	0,47	0,44

ANEXO 2 - PESO DAS PARTÍCULAS "IN NATURA" RETIDAS EM DIFERENTES MALHAS DE PENEIRAS (g)

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	%
TEOR DE UMIDADE(%)	11,11	12,10	11,11	12,23	12,23	11,48	12,36	11,48	12,49	11,48	11,81	
MALHA(mm)												
9,52	0,48	0,18	0,11	0,04	0,04	0,17	0,08	0,20	0,05	0,08	0,14	0,72
4,00	13,83	12,04	11,81	8,71	7,40	6,48	7,36	9,79	9,55	7,20	9,42	47,25
2,00	3,23	4,19	4,29	4,60	4,18	3,80	4,44	3,90	4,17	4,18	4,10	20,56
0,84	2,04	2,81	3,09	4,80	5,37	5,82	5,25	3,92	4,03	5,45	4,26	21,36
0,50	0,54	0,45	0,39	1,05	1,70	2,16	1,55	1,15	1,16	1,73	1,19	5,96
0,25	0,21	0,19	0,19	0,44	0,77	0,96	0,71	0,55	0,56	0,79	0,54	2,69
0,00	0,12	0,15	0,19	0,04	0,47	0,49	0,39	0,32	0,30	0,42	0,29	1,45
TOTAL	20,45	20,01	20,07	19,68	19,93	19,88	19,78	19,82	19,81	19,84	19,93	99,99

ANEXO 3 - PESO DAS MARAVALHAS APÓS A PASSAGEM PELO
MOINHO COM DIFERENTES MALHAS DE PENEIRA (g)

MALHA DO MOINHO(mm)	25	18	12	5,80
TEOR DE UMIDADE(%)	3	15,30	15,30	15,30
MALHA DE PENEIRA(mm)				
9,52	0,30	0,00	0,00	0,00
4,00	19,56	4,20	2,13	0,85
2,00	9,26	9,95	13,15	3,55
0,84	15,40	20,57	22,35	27,78
0,50	4,64	8,24	7,00	10,92
0,00	2,40	6,50	4,90	7,48
TOTAL	51,56	49,46	49,53	50,58

ANEXO 4 - PESO DAS PARTÍCULAS ORIGINADAS DO MOINHO COM
MALHA 5,8 mm (g)

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MEDIA	%
TEOR DE UMIDADE(%)	9,11	9,11	11,11	9,85	8,46	8,46	9,17	9,17	6,84	11,02		
MALHA DE PENEIRA(mm)												
9,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
4,00	0,37	0,22	0,28	0,37	0,13	0,09	0,07	0,15	0,18	0,30	0,22	0,43
2,00	17,75	12,02	13,60	14,28	7,60	4,90	7,00	7,40	6,92	11,15	10,26	20,49
0,84	20,34	26,07	26,26	25,33	31,47	31,38	33,10	32,27	30,94	26,83	28,40	56,69
0,50	6,78	7,09	6,13	6,42	7,23	8,86	6,57	6,90	8,13	7,41	7,15	14,28
0,00	4,70	4,54	3,87	3,64	3,56	4,76	3,18	3,49	4,40	4,52	4,07	8,12
TOTAL	49,94	49,94	50,14	50,04	49,99	49,99	49,92	50,21	50,57	50,21	50,10	100,00

ANEXO 5 - TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS E DO COLCHÃO DE
PARTÍCULAS (%)

CORPO DE PROVA	UMIDADE DE PARTÍCULAS	UMIDADE DO COLCHÃO
3S4	3,11	9,17
3S8	2,75	9,22
3S12	3,35	9,15
3P4	2,88	8,54
3P8	2,88	10,30
3P12	3,01	10,23
6S8	6,20	11,37
6S12	5,75	11,33
6P8	6,11	11,58
6P12	5,78	12,31
9S12	9,34	13,59
9P12	9,29	14,42

ANEXO 6 - ALTURA DO COLCHÃO DE PARTÍCULAS ANTES E DEPOIS
DA PRÉ-PRENSAGEM (cm)

CORPO DE PROVA	ALTURA ANTERIOR	ALTURA POSTERIOR	DIFERENÇA	DIFERENÇA (%)
3S4	15,80	9,10	6,70	42,41
3S8	12,30	7,50	4,80	39,02
3S12	9,10	6,10	3,00	32,97
3P4	13,50	8,50	5,00	37,04
3P8	13,30	8,40	4,90	36,84
3P12	14,30	8,70	5,60	39,16
6S8	15,10	9,00	6,10	40,40
6S12	14,70	8,80	5,90	40,14
6P8	13,00	8,20	4,80	36,92
6P12	14,40	8,50	5,90	40,97
9S12	13,80	8,50	5,30	38,41
9P12	14,20	7,80	6,40	45,07

NEXO 7 - TEOR DE UMIDADE DAS CHAPAS LOGO APÓS A
PRENSAGEM (%)

UMIDADE(%)	3						6				9	
PARAFINA(%)	S ¹			P ²			S ¹		P ²		S ¹	P ²
TEMPO(MIN)	4	8	12	4	8	12	8	12	8	12	12	12
TEOR DE UMIDADE DA CHAPA (%)	4.51	3.23	1.90	5.49	1.65	1.51	4.0 1	1.66	3.41	2.17	3.37	3.76

¹ - 0% DE PARAFINA

² - 1% DE PARAFINA

ANEXO 8. VALORES REQUERIDOS PARA CHAPAS DE PARTÍCULAS

TIPO (USO)	DENSIDADE média min.	CLASSE ³ média min.	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²) média min.	MÓDULO DE ELASTICIDA DE (kg/cm ²) média min.	LIGAÇÃO INTERNA (kg/cm ²) média min.	EXPANSÃO (%) média min.	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO	
							FACE média min.	BORDO média min.
1 ¹	A (alta densidade, 0,80 g/cm ³ e acima)	1	168	24500	14	0,55	204,12	-----
		2	236	24500	9,8	0,55	-----	-----
	B (média densidade, entre 0,60 e 0,80 g/cm ³)	1	112	24500	4,9	0,35	102,06	72,38
		2	168	28000	4,2	0,30	102,06	90,72
	C (baixa densidade, 0,60 g/cm ³ e abaixo)	1	56	10500	1,4	0,30	56,70	-----
		2	98	17500	2,1	0,30	79,38	-----
2 ²	A (alta densidade, entre 0,60 e 0,80 g/cm ³)	1	168	24500	8,75	0,55	204,12	-----
		2	238	35000	28,0	0,55	226,80	158,76
	B (média densidade, entre 0,60 e 0,80 g/cm ³)	1	126	17500	4,55	0,35	102,06	72,58
		2	175	31500	4,2	0,25	113,40	90,72

¹ Tipo 1 - Chapa de partícula (geralmente feita com resina uréia-formaldeído) adequada para aplicações interiores.

² Tipo 2 - Chapa de partícula feita com resina durável e altamente resistente à umidade e calor (geralmente resina fenólica) adequada para aplicações interiores e certas aplicações exteriores quando assim classificadas.

³ Classe - Classificações de resistência baseadas nas propriedades dos painéis correntemente produzidos.

FONTE: Norma comercial americana CS 236-66

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMA. **Programa brasileiro de qualidade e produtividade**. Diagnóstico. 1992.

ALBERTO, Mario Michaque Miguel. **Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais "waferboards"**. Curitiba, [s.n], 1992, 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of evaluation the properties of wood-base fiber and particle panel materials. In: **Annual Book of ASTM Standards**, ASTM D 1037-78B. Philadelphia, 1982.

BRITO, Edvá Oliveira. **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais "waferboards"**. Curitiba, [s.n], 1984, 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1984.

CARNOS, Bernardo. **Madeira aglomerada: conceito e utilização**. Porto Alegre : SAGRA, 1988.

COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS, Santiago. COPANT Maderas; Acondicionamento de las maderas destinadas a los ensayos físicos e mecânicos. s1. 1971. 2p. (Proyecto 1:A de Recomendacion COPANT).

COMMERCIAL Standard CS 236-66. Mat formed wood particleboard, 1968.

DOOSTHOSEINI, K. A basic study on *Tamarix* sp for the possibility of its use in particleboard manufacturing. **Iranian Journal of Natural Resources**, Tehran, n. 50, p.53-60, 1987.

DUNCAN, T.F. Normal Resin Distribution In Particleboard Manufacture. **Forest Products Journal**. Vol. 24. No. 6. p.36. Jun. 1974.

FAO. **Conservación de energía em las industrias mecánicas forestales**. Roma, 1991.

GATCHELL, C.J.; HEEBINK, B.G.; HEFTY, F.V. Influence of component variables on properties of particleboard for exterior use. **Forest Products Journal**, vol. 16, n. 4, p.46-59, 1966.

GERARD, J.C. Profiles in dimensional behavior of particles in simulated particleboard constructions. **Forest Products Journal**, vol. 16, n. 6, p. 40-48, jun. 1966.

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

HEEBINK, B.G. ; HANN, R.A.; HASKELL, H.H. Particleboard quality as affected by planer shaving geometry. **Forest Products Journal** , v.14, n.10, p. 486-494, 1964.

HEEBINK, Bruce G.; LEHMANN, William F.; HEFTY, F.V. **Reducing particleboard pressing time**: exploratory study. F.P.L. 180, Madison, 13pp. 1972.

HILL, M.D.; WILSON, J.B. Particleboard strength as affected by unequal resin distribution on different particle fractions. **Forest Products Journal**, v. 28, n.11, p.44, 1978.

HSE, Chung-Yun. Formulation of an economical fast-cure phenolic resina for exterior hardwood flakeboard. In: **Ninth Particleboard Proceedings, 1975**. Pullman: Washington State University, 1975. p. 127-141.

IWAKIRI, Setsuo. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. Curitiba, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1989.

IWASHITA, M. **Tropical hardwoods from Papua, New Guinea, as particleboard raw material**, p.105-119, 1974.

_____. Studies on particleboard (XII). On the evaluation of adaptable qualities for furniture or building material (1). The influence of overlay on creep properties of particleboard. Bulletin of the Government Forest Experiment Station, Meguro, no. 263, p. 65-72, 1974.

KEINERT JR, Sidon. **Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board.** Michigan, 1980. 184 p. Tese (Doutorado). Department of Forestry, Michigan State University, 1980.

_____. **A viabilidade de utilização de espécies de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus viminalis* para a produção de chapas de composição.** Curitiba. 1985. Tese (Professor Titular) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1985.

KELLY, Myron W. Critical Literature Review of Relationships Between processing parameters and physical properties of particleboards. **General Technical Report, FPL-10, 65p.** 1977.

KEHR, E.; SCHERFKE, R. The effect of chip geometry on properties of particle board. I.Sorting and further comminution of middle-layer chips. **Holztechnol.**, Dresden, v. 4, n.3, p.251-256, 1963.

KJUCUKOV, G.; JOSIFOV, N. **Effect of the veneer on the compression and tensile strength of veneered three-layer particle boards.** Nauc. Trud. Lesoteh. Inst., Sofija n.15, p.57-64. 1967.

KOLLMANN, Franz F.P.; KUENZI, Edward W.; STAMM, Alfred J. **Principles of Wood Science and Technology.** New York: Springer-Verlag, 1975. 592p.

KUHNE, G.; BELIMOU, P. **Analysis of hot-pressing of three-layered particleboard for furniture.** Ein Beitrag Zur Analyse des Heisspressvorganges dreischichtiger Mobelspanplatten. I. Holzindustrie, v. 31, n. 1, p. 3-5, 1978.

LEHMANN, W.F. Cyclic moisture conditions and their effect on strength and stability of structural flakeboards. **Forest Products Journal**, v. 28, n. 6, p.23-31, jun. 1978.

LEHMANN, W.F.; GEIMER, R.L.; HEFTY, F.V. Factors affecting particleboard pressing time: interaction with catalyst systems. Forest Products Laboratory, Madison. Forest Service.

LEWIS, Wayne C. USDA Forest Products Laboratory - Madison, Wisconsin. Board Materials from Wood Residues. FPL 045, July 1971. 11 pag.

LYON, Duane E.; SHORT, Paul H.; LEHMANN, William F. Minimizing press time for radiofrequency-cured flakeboard. **Forest Products Journal**, v. 30, n. 2, p. 33-38, fev. 1980.

PROCEEDINGS OF TENTH WASHINGTON STATE UNIVERSITY SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD (1976 : Pullman, Washington). **Loetex: History of particleboard developed by the Farley & Loetscher manufacturing.** Washington : Thomas M. Maloney, 1976.

MALONEY, Thomas M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing.** San Francisco, Miller Freeman Publications ,1977. 671p.

MALONEY, T.M. et al. **Composition Board from Standing Dead White Pine and Dead Lodgepole Pine.** Proceedings -WSU Particleboard no. 10, p.27. 1976.

MATOS, Jorge Luis Monteiro. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards".** Curitiba, 1988. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1988.

MIKHAILOV, N.A; BORZENKO, V.M.; OSTAPENKO, N.I. **Particleboards made from heavy hardwood species.** Derevoobrabatyvayushchaya Promyshlennost', n.4, p.10-12. 1981.

MOSLEMI, A.A.. **Particleboard.** Carbondale and Edwardsville: Southern Illinois University Press, 1974.

PEREDO L., Miguel; TORRES G., Eduardo. **Fabricacion de tableros de particulas con desechos.** In: VII REUNIÓN SOBRE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS FORESTALES, 1971, Valdivia. Anais da VII Reunión sobre investigación y desarrollo de productos forestales. Valdivia:[s.n], 1991. p.410-426.

POPOVA, K.A. **Fines screened from specially made chips as a raw material for particleboard manufacture.** Derevoobrabatyvayushchaya Promyshlennost', v. 23, n. 9. 1982.

RICE, James T. Particleboard from "silage" sycamore--laboratory production and testing. **Forest Products Journal**, v. 23, n. 2, p.28-33, fev 1973.

- RICE, James T.; CAREY, Robert H. Wood density and board composition effects on phenolic resin-bonded flakeboard. **Forest Products Journal**, v. 28, n. 4, p. 21-28, abr. 1978.
- RUSANOV, K.H; KAVALOV, A; KYUCHCHUKOV, G. **Effect of the veneer on the dimensional stability of veneered three-layer particleboards** Nauchin Trudove, vissh Lesotekhnicheski Institut, Sofiya, Mekhanichna Tekhnologiya na D"rvesinata, n.25, p. 125-129. 1980.
- STAHELIN, Rudolph; EVERARD, William P. **Forests and forest industries of Brazil**. Forest Resource Report n° 16, Washington, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1964.
- STRICKLER, M.D. Effect of press cycles and moisture content on properties of Douglas-Fir flakeboard. **Forest Products Journal**, , p. 203-215. jul. 1959.
- TALBOTT, J.W.; MALONEY, T.M. Effect of several production variables on the modulus of rupture and internal bond strength of boards made of green Douglas-fir planer Shavings. *Forest Product Journal*. , v. 7, n. 10, p. 395-398. 1957.
- VITAL, Benedito Rocha; LEHMANN, William F.; BOONE, R. Sidney. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. *Forest Products Journal*, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.
- VITAL, B.R.; WILSON, J.B. Factors affecting the water adsorption of particleboard and flakeboard. In: Symposium on wood moisture content-temperature and humidity relationships (1979:Virginia). Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, October 29, 1979.

WINISTORFER, P.M; DICARLO, D. Furnish moisture content, resin nonvolatile content, and assembly time effects on properties of mixed hardwood strandboard. *Forest Products Journal*, v. 38, n. 11/12, p. 57-62, 1988.