

**LEOPOLDO KARMAN SALDANHA**

**ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE  
PARTÍCULAS ORIENTADAS “OSB”**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Ciências  
Florestais, Curso de Pós-graduação em  
Engenharia Florestal, Setor de Ciências  
Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri.

**CURITIBA  
2004**

**Aos meus pais, Luiz Antônio Saldanha e Elizabeth Karman.**

**Pela educação, amor e dedicação.**

**Karin Hampe Mafra pelo apoio e compreensão.**

**Dedico e ofereço**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Setsuo Iwakiri pela orientação, amizade, confiança e os valiosos ensinamentos transmitidos da graduação até o presente momento.

Aos Professores Dr Jorge Luis Monteiro de Matos e Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque pela amizade, apoio e co-orientação.

Aos professores Dr. Márcio Pereira da Rocha, Dr. Ricardo Jorge Klitzke, Dra. Graciela Ines Bolzon de Muñiz, Dr. Paulo Fernando Trugilho (UFLA), Dr. Lourival Marin Mendes (UFLA), pela amizade e pela oportunidade do convívio.

Aos professores do Curso de Engenharia Florestal e Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela formação.

Aos colegas e amigos Daniel Chies, Daniel Sachs, José Guilherme Prata, Marcos Aurélio Mathias de Souza, Gilnei Machado Rosa, Karinne Pereira Siqueira, Ana Raquel Gomes Montefusco, Ademir José Cavalli, Victor Daniel Herrera.

As Empresas BORDEN QUÍMICA e DYNEA DO BRASIL pela doação das resinas utilizadas neste trabalho.

Ao Graduando em Engenharia Industrial Madeireira, Juliano Cláudio do Santos pelo auxílio no trabalho e coleta das informações em laboratório.

Para todos que direta ou indiretamente colaboraram com a construção deste trabalho

## **BIOGRAFIA**

LEOPOLDO KARMAN SALDANHA, filho de Luiz Antônio Saldanha e Elizabeth Karman, nasceu em Curitiba Estado do Paraná em 13 de maio de 1977.

Efetuou o primeiro e parte do segundo grau no Colégio Martinus, concluindo os estudos em 1995 no Colégio Dom Bosco, ambos em Curitiba.

Em março de 1996 iniciou os estudos de graduação no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, concluindo-o em maio de 2002.

Neste mesmo ano ingressou no Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, na Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da referida universidade, defendendo a dissertação em abril de 2004, cumprindo assim os requisitos necessários para obtenção do título de mestre.

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. CARACTERÍSTICAS DAS CHAPAS OSB.....	4
2.2. PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS CHAPAS OSB.....	5
2.3. PARÂMETROS DO PROCESSO PRODUTIVO DAS CHAPAS OSB.....	8
2.4. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS OSB.....	10
2.4.1. Densidade da madeira e da chapa.....	10
2.4.2. Geometria das partículas.....	13
2.4.3. Resina.....	14
2.4.4. Ciclo de prensagem.....	15
2.4.5. Reforço laminar superficial.....	16
2.5. PROPRIEDADES DAS CHAPAS OSB.....	18
2.5.1. Módulos de Elasticidade e Ruptura em flexão estática.....	18
2.5.2. Ligação interna.....	19
2.5.3. Absorção de água e inchamento em espessura.....	20
2.5.4. Taxa de não retorno em espessura ( <i>Spring-back</i> ).....	21
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
3.1. MATÉRIA PRIMA.....	22
3.1.1. Coleta do material.....	23
3.1.2. Determinação da massa específica aparente da madeira.....	25
3.2. MANUFATURA DAS CHAPAS.....	25
3.2.1. Plano experimental.....	25

3.2.2. Quantificação do material.....	27
3.2.3. Obtenção das partículas e lâminas.....	28
3.2.4. Secagem das partículas.....	28
3.2.5. Aplicação da resina.....	29
3.2.6. Formação do colchão.....	30
3.2.7. Prensagem.....	31
3.2.8. Acondicionamento.....	32
3.3. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS CHAPAS.....	33
3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
4.1. MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA.....	35
4.2. DENSIDADE DAS CHAPAS.....	35
4.3. FASE 1 - INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS PARTICULAS .....	36
4.3.1. Propriedades mecânicas.....	36
4.3.2. Propriedades físicas.....	40
4.4. FASE 2 - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA .....	42
4.4.1. Propriedades mecânicas.....	42
4.4.2. Propriedades físicas.....	45
4.5. FASE 3 - INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA .....	49
4.5.1. Propriedades mecânicas.....	49
4.5.2. Propriedades físicas.....	52
4.6. FASE 4 - INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA.....	54
4.6.1. Propriedades mecânicas.....	54
4.6.2. Propriedades físicas.....	57
4.7. FASE 5 - INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL.....	60
4.7.1. Propriedades mecânicas.....	60
4.7.2. Propriedades físicas.....	63
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. ESQUEMA DA ORIENTAÇÃO DAS PARTÍCULAS “ <i>STRAND</i> ” · .....	5
2. ESQUEMA DO PROCESSO PRODUTIVO PARA CHAPAS OSB.....	7
3. ESQUEMA DA COLETA DO MATERIAL PARA PARTÍCULAS.....	24
4. FLUXOGRAMA DO PLANO EXPERIMENTAL .....	27
5. APARATO UTILIZADO NA SECAGEM DAS PARTÍCULAS (PRIMEIRA ETAPA). .....	29
6. DETALHES EXTERNOS E INTERNOS DA ENCOLADEIRA .....	30
7. SISTEMA CAIXA ORIENTADORA DE PARTÍCULAS E CAIXA FORMADORA DO COLCHÃO. ....	31
8. PROCESSO DE PRÉ-PRENSAGEM E PRENSAGEM A QUENTE DAS CHAPAS .....	32
9. ESQUEMA DE AMOSTRAGEM E CORTE DOS CORPOS-DE-PROVA NAS CHAPAS, VALORES EXPRESSOS EM MILÍMETROS .....	34
10. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA ESPESSURA DE PARTÍCULAS .....	38
11. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA ESPESSURA DE PARTÍCULAS .....	39
12. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA ESPESSURA DE PARTÍCULAS .....	41
13. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA ESPESSURA DE PARTÍCULAS .....	42
14. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA.....	44
15. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA.....	45

16. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA .....	47
17. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA.....	48
18. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA PRESSÃO ESPECÍFICA.....	50
19. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA PRESSÃO ESPECÍFICA.....	51
20. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA PRESSÃO ESPECÍFICA.....	53
21. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA PRESSÃO ESPECÍFICA.....	54
22. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA TIPO DE RESINA .....	56
23. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA TIPO DE RESINA .....	57
24. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA TIPO DE RESINA .....	58
25. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA TIPO DE RESINA .....	59
26. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA O REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL .....	62
27. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL .....	63
28. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA O REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL .....	64
29. HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA O REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL .....	65



## LISTA DE TABELAS

	Página
1. PARÂMETROS DO PROCESSO PRODUTIVO PARA CHAPAS OSB NA INDÚSTRIA CANADENSE .....	8
2. PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS PARA CHAPAS OSB SEGUNDO NORMA CANADENSE CSA 0437-0 .....	9
3. ESPECIFICAÇÕES DAS CHAPAS OSB MASISA-BRASIL .....	10
4. CARACTERÍSTICAS DAS RESINAS UTILIZADAS.....	23
5. PLANO EXPERIMENTAL.....	26
6. VALORES MÉDIOS DAS DENSIDADES DAS CHAPAS.....	36
7. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).....	38
8. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.....	39
9. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.....	40
10. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.....	41
11. INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).....	43
12. INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.....	45
13. INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.....	46
14. INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.....	48

15. INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).....	49
16. INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA .....	51
17. INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.....	52
18. INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.....	54
19. INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR) .....	55
20. INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.....	56
21. INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA .....	58
22. INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA .....	59
23. INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).....	61
24. INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.....	62
25. INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.....	64
26. INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA .....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABIMOVEL - Associação Brasileira das Industrias do Mobiliário
- AA - Absorção de água
- APA – *American Plywood Association*
- ASTM – *American Society for Testing and Materials*
- COPANT - Comisión Panamericana de Normas Técnicas
- CSA - *Canadian Performance Standard*
- DIN - *Deutsche Industrie Normen*
- EN - *European Standard*
- FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- FF - Resina Fenol-Formaldeído
- g/cm<sup>3</sup> - Gramas por centímetro cúbico
- IE - Inchamento em espessura
- kg/m<sup>3</sup> - Quilograma por metro cúbico
- kgf/cm<sup>2</sup>.- Quilograma força por centímetro quadrado.
- LI - Ligação interna
- MDF - *Medium Density Fiberboard*, chapas de fibras de média densidade
- MDI - Difênil-Metano Di-Isocianato
- MF – Resina Melamina-Formaldeído
- MOE - Módulo de Elasticidade
- MOR – Módulo de Ruptura
- MUF - Resina Melamina-Uréia-Formaldeído
- OSB - *Oriented Strand Board*, chapas de partículas “strand” orientadas
- PMUF – Resina Fenol-Melamina-Uréia-Formaldeído
- PS - *U. S. Department of Commerce Voluntary Performance Standard*
- TNRE - Taxa de não retorno em espessura
- TECO – Timber Company
- UF - Resina Uréia-Formaldeído
- UFPR – Universidade Federal do Paraná
- ⊥ - Perpendicular.
- // - Paralelo

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar algumas variáveis de processamento na manufatura de chapas OSB de *Pinus taeda*. Foram analisados os efeitos: 1) espessura de partículas (0,4, 0,7, 1,0 mm); 2) densidade nominal da chapa (0,65 e 0,90 g/cm<sup>3</sup>); 3) pressão específica (40, 60, 80 kgf/cm<sup>2</sup>); 4) tipo de resina (FF, PMUF e MUF); e 5) reforço laminar superficial (lâminas de *Pinus taeda*). As análises foram baseadas nos resultados das propriedades de flexão estática, ligação interna, absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura. Os resultados demonstraram que 1) a utilização de partículas com 1,0 mm de espessura resultaram em chapas com maior ligação interna; 2) chapas com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> apresentaram maiores valores de MOE e MOR paralelo e ligação interna; 3) o aumento da pressão específica não influenciou expressivamente nas propriedades de resistência mecânica e estabilidade dimensional; 4) as chapas produzidas com resina PMUF apresentaram comportamento similar na estabilidade dimensional em relação a resina FF; 5) o reforço laminar superficial aumentou a resistência de MOE e MOR no sentido perpendicular, conferindo melhor balanço estrutural entre as direções paralelo-perpendicular; as médias absolutas indicaram uma tendência de melhora na estabilidade dimensional das chapas.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to study some variables related to processing in the panels manufacture OSB of *Pinus taeda*. The following effects were analyzed: 1) thickness of particles (0,4, 0,7, 1,0 mm); 2) nominal density of the plate (0,65 and 0,90 g/cm<sup>3</sup>); 3) specific pressure (40, 60, 80 kgf/cm<sup>2</sup>); 4) type of resin (FF, PMUF and MUF); and 5) veneer inclusion in the faces (veneers of *Pinus taeda*). The analyses were based on the results of the properties of tensile strength parallel and perpendicular to surface, internal bonding, water absorption, thickness swelling and spring back. The results obtained indicated that 1) use of the particles with 1,0 mm of thickness resulted in panels with bigger internal bonding; 2) panels with nominal density of 0,90 g/cm<sup>3</sup> presented larger values of parallel MOE and MOR and internal bonding; 3) the increase in specific pressure did not influence the properties of resistance and dimensional stability; 4) panels produced with resin PMUF presented a similar behavior in the dimensional stability in relation to resin FF; 5) veneer inclusion increased the resistance of MOE and MOR in the perpendicular direction, allowing a better structural balance between the directions parallel-perpendicular; the absolute averages indicated that the dimensional stability of panels tends to improve.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de painéis reconstituídos de madeira passa por uma fase de amplo crescimento. Segundo dados apresentados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO (2002), a produção brasileira de painéis de madeira incluindo painéis laminados cresceu 184% no período entre 1998 à 2000, colocando o Brasil como líder do segmento perante os outros países da América latina.

A importância do setor de painéis reconstituída de madeira pode ser atribuída à fatores como: a necessidade do uso racional dos recursos florestais; restrições no uso e comercialização de madeiras nativas e o melhor aproveitamento da matéria prima madeira no processamento, fortalecendo ainda mais as indústrias de painéis reconstituídos, que utilizam exclusivamente madeiras de florestas plantadas, sendo na sua maioria do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*.

No final dos anos 90, os painéis reconstituídos principalmente os particulados, assumiram um papel de destaque no mercado nacional, pois foram eles que apresentaram a maior evolução, tanto em termos de volume de produção como de inovações tecnológicas, disponibilizando ao mercado novos produtos como: “MDF” (*Medium Density Fiberboard* - chapas de fibras de média densidade) e o “OSB” (*Oriented Strand Board* - chapas de partículas orientadas), matéria-prima alternativa para os setores moveleiro e de construção-civil respectivamente.

As chapas OSB são compostas por partículas de madeira denominadas “*strand*”, orientadas em uma mesma direção e coladas com resinas a prova d’água normalmente a fenol-formaldeído. São chapas utilizadas para aplicações estruturais como: paredes, suportes para forro e pisos, componentes de vigas, embalagens, entre outros usos.

Este tipo de chapa foi desenvolvida nos EUA em meados da década de 70, como segunda geração das chapas estruturais “*waferboard*”. Desde então, a sua utilização tem crescido e ocupado uma faixa de mercado antes exclusiva das chapas de madeira compensada, devido aos seguintes fatores: (1) redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação; (2) podem ser produzidas a partir de toras de

qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial; (3) a largura e comprimento das chapas OSB é determinada pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras como no caso de compensados (CLOUTIER, 1998).

Os Estados Unidos e Canadá são considerados “o berço” do desenvolvimento industrial para chapas OSB concentrando atualmente a maioria das unidades industriais. Em outras regiões do mundo, como em países europeus e asiáticos, nota-se um expressivo aumento na implantação de novas fábricas.

No Brasil, foi instalada em 2001 no Estado do Paraná uma das duas unidades industriais existentes na América Latina, com capacidade de produção de 200.000m<sup>3</sup> produzindo chapas destinadas ao setor de construção civil e de embalagens. (ABIMOVEL, 2003).

A tecnologia empregada atualmente nas fábricas é proveniente do chamado “pacote tecnológico”, que consiste em variáveis de processamento pré-ajustadas aos equipamentos que compõem a planta industrial. Países como EUA, Canadá e Alemanha são os grandes produtores de insumos destinados ao OSB.

Dentre as principais variáveis de processamento que afetam as propriedades das chapas de partículas (incluindo o OSB), citados por MALONEY (1993), destacam-se:

- ▲ As espécies florestais e o tipo de matéria-prima;
- ▲ O tipo de partícula produzida;
- ▲ O tipo de resina, quantidade e distribuição entre as camadas;
- ▲ Algum aditivo especial utilizado (parafina, preservantes, retardante de fogo);
- ▲ O nível e distribuição da umidade no colchão de partículas;
- ▲ Densidade da chapa;
- ▲ Formação das camadas, colchão e orientação das partículas.

Estudos específicos sobre as variáveis de processamento, principalmente sobre a matéria-prima madeira, devem ser efetuados. Pois seus resultados auxiliam na otimização do processo, tanto na produção como na qualidade das chapas.

## 1.1- OBJETIVOS

Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar alguns parâmetros de processamento, na manufatura de chapas OSB produzidas a partir de *Pinus taeda*, em busca de alternativas tecnológicas para produção e utilização das chapas.

Objetivos específicos:

- ▲ Avaliar a influência da espessura das partículas nas propriedades das chapas;
- ▲ Avaliar a qualidade das chapas de alta densificação, visando aplicações estruturais específicas;
- ▲ Avaliar a influencia da pressão específica nas propriedades das chapas;
- ▲ Avaliar a qualidade das chapas coladas com resinas alternativas ao fenol-formaldeído (PMUF e MUF);
- ▲ Avaliar o reforço laminar superficial na qualidade e propriedades das chapas.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DAS CHAPAS OSB

As chapas OSB, sigla do termo *Oriented Strand Board*, são de segunda geração da chapa estrutural denominada “*waferboard*” desenvolvida pelo Dr. James D'Arcy Clarke da *U.S. Potlatch Corporation* em 1954. Estudando usos alternativos para madeiras que não eram adequadas à produção de madeira serrada e polpação, ele descobriu que processando toras de *Populus sp.* em finas partículas “*wafers*” e coladas com resinas fenólicas termo-reativas, obtinha-se uma chapa muito similar em suas características ao compensado. Em 1962 um grupo de empresários do Canadá adquiriram a patente da chapa “*waferboard*” e desenvolveram uma fábrica a partir de adaptações em linhas industriais inicialmente projetadas para chapas de partículas convencionais (aglomerados). A comercialização deste material teve muito sucesso em decorrência do preço competitivo em relação ao compensado canadense. No final da década de 70 surgiram as primeiras plantas específicas para o OSB.

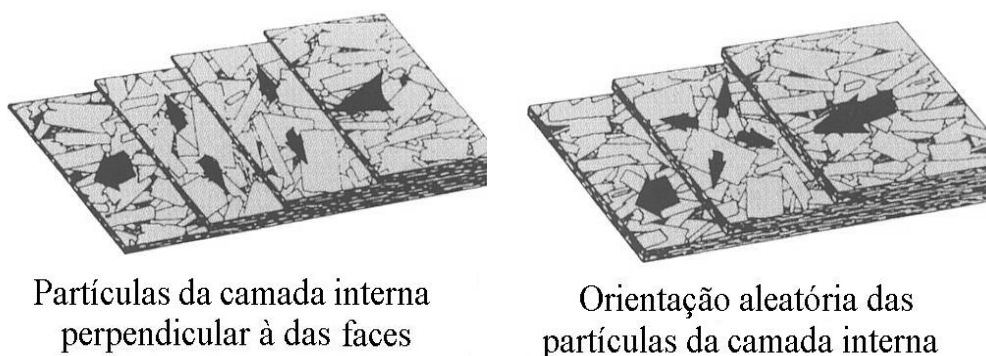
As principais diferenças entre chapas “*waferboard*” e OSB consistem na dimensão das partículas utilizadas, onde as “*wafers*” são curtas em torno de 40 x40 mm e as “*strands*”, utilizadas no OSB, são mais longas em torno de 80-150 mm por 25 mm de largura. Outra diferença está na orientação e formação do colchão. Nas chapas “*waferboard*” as partículas são distribuídas aleatoriamente no processo de formação do colchão, numa camada homogênea. Por outro lado, nas chapas OSB ocorre a formação de camadas de partículas “*strands*”, onde as camadas internas possuem alinhamento perpendicular à direção de formação das camadas externas. Diferenças estas que proporcionaram uma melhora significativa na estabilidade dimensional e resistência mecânica nas chapas OSB (JANSSENS, 1998).

Segundo MALONEY (1996), as chapas OSB são produzidas com partículas “*strands*” orientadas e constituídas em três camadas, onde a camada interna central é

disposta perpendicularmente em relação as camadas externas. A camada interna também pode ter orientação aleatória das partículas, como demonstrado na Figura 1.

A chapa aproxima-se em rigidez e resistência ao compensado, tendo na década de 80 um proeminente desenvolvimento tecnológico da manufatura deste produto. O OSB pode apresentar espessura mais fina em comparação ao “*waferboard*”, para os mesmos tipos de usos.

FIGURA 1 – ESQUEMA DE ORIENTAÇÃO DAS PARTÍCULAS “*STRAND*”.



Partículas da camada interna perpendicular à das faces

Orientação aleatória das partículas da camada interna

Fonte: MENDES (2001).

## 2.2 PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS CHAPAS OSB

As chapas OSB possuem uma ampla gama de utilizações tais como: Forro para telhados, base para paredes e pisos, construções residenciais, *pallets*, estandes, estruturas para móveis, tapumes, divisórias, alma para vigas em “I” e painéis estruturais isolantes (JANSSENS, 1998; SBA, 2003).

Normalmente a chapa é produzida com espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm, podendo atingir até 38,0 mm. São produzidas em chapas de 1220 x 2440 mm para usos estruturais, mas também podem ser produzidas em dimensões especiais de até 3600 x 7320 mm para usos industriais (CLOUTIER, 1998).

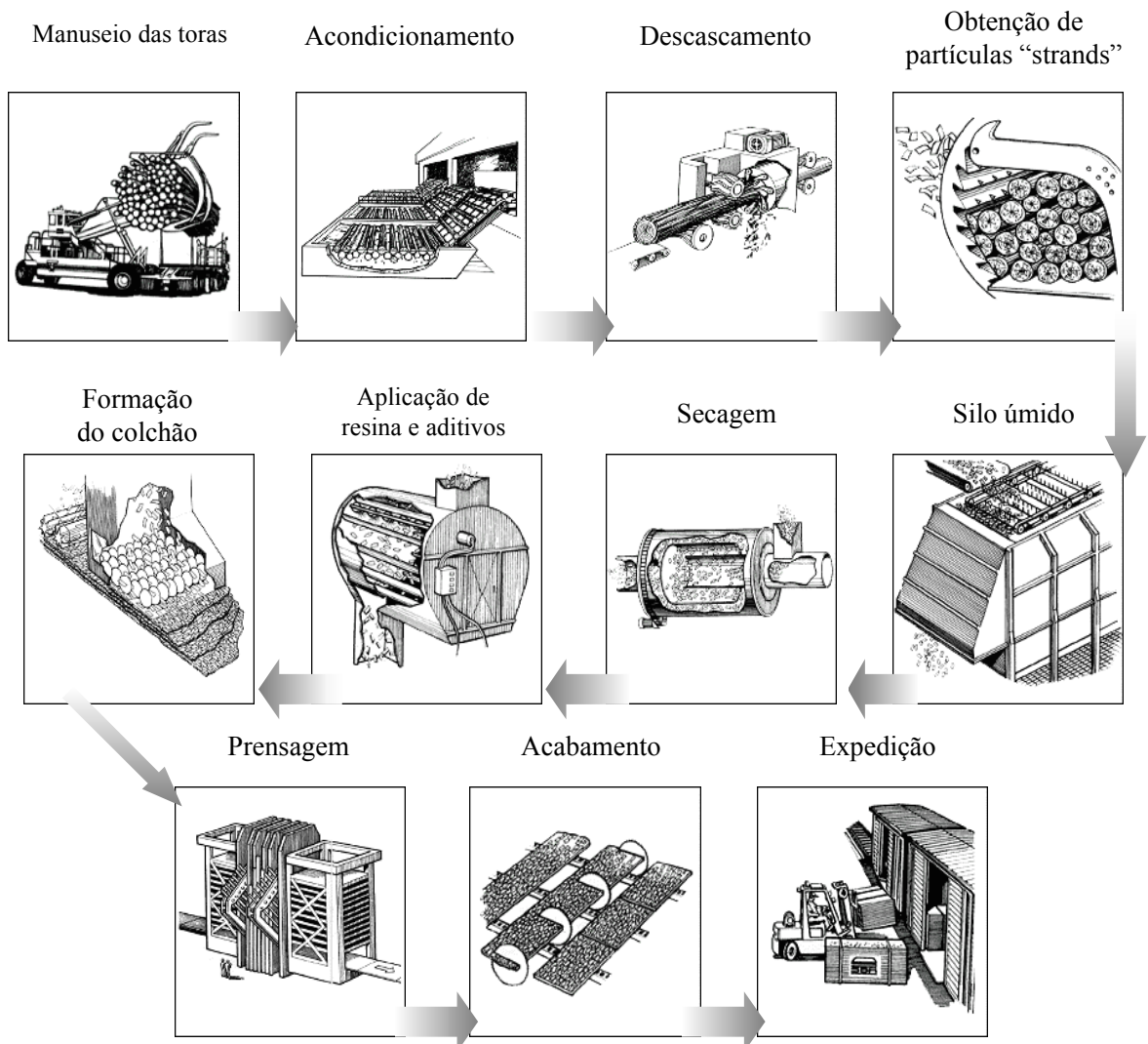
No Brasil, a unidade industrial da MASISA localizada em Ponta Grossa-Pr produz três tipos de chapas, onde diferencia-se no tipo de resina e aditivos utilizados. As chapas com nome comercial OSB home e OSB multiuso são produzidos com resina MDI na camada interna e FF nas camadas externas, são produzidas em espessuras que variam de 6mm a 35mm, com largura e comprimento de 1220x2440 mm ou 1600x2500mm (MASISA 2003).

CLOUTIER (1998), descreve que o processo industrial das chapas OSB divide-se em onze etapas:

- 1) Toragem e acondicionamento das toras;
- 2) Descascamento das toras;
- 3) Geração das partículas “*strand*”;
- 4) Armazenamento das partículas úmidas;
- 5) Secagem das partículas;
- 6) Classificação e peneiramento;
- 7) Mistura dos componentes do colchão;
- 8) Formação do colchão;
- 9) Prensagem a quente;
- 10) Acabamento e esquadrejamento.
- 11) Expedição.

A Figura 2 apresenta o esquema do processo produtivo para chapas OSB.

FIGURA 2- ESQUEMA DO PROCESSO PRODUTIVO DAS CHAPAS OSB.



Fonte: Adaptado SBA(2003).

## 2.3 PARÂMETROS DO PROCESSO PRODUTIVO DAS CHAPAS OSB

Os parâmetros empregados no processo produtivo das indústrias canadenses de OSB são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1– PARÂMETROS DO PROCESSO PRODUTIVO PARA CHAPAS OSB NA INDÚSTRIA CANADENSE.

PARÂMETROS	REFERÊNCIAS
Espécies de madeiras	Alamo (Aspen - <i>Populus tremuloides</i> ); Betula (White birch – <i>Betula papyrifera</i> ).
Geometria das partículas “strand” da camada superficial	Largura: 25 mm; Comprimento: 120 a 150 mm; Espessura: 0,5 mm.
Geometria das partículas “strand” da camada interna	Largura: 19 a 25 mm; Comprimento: 100 a 120 mm; Espessura: 0,5 a 0,8 mm.
Proporção das camadas externa - interna	40:60 a 60:40 baseado na percentagem através do peso no fornecimento da mistura partícula-adesivo na formação do colchão
Tipo de adesivo	Fenol-formaldeído na forma líquida ou em pó, ou difenil metano di-isocianato.
Conteúdo de adesivo para as camadas externa e interna	Resinas FF em pó: 2 a 3 % (baseado em peso seco das partículas); Resinas FF líquidas: 3 a 6 % de FF sólido (baseado em peso seco das partículas).
Conteúdo de parafina	0,5 a 1,5 % (baseado no peso seco das partículas).
Conteúdo de umidade do colchão	Para resina FF em pó: camada externa → 5 a 7 %; camada interna → 3 a 5 %; Para resina FF líquida: camada externa → 6 a 8 %; camada interna → 4 a 6 %.
Temperatura de prensagem	200 a 220°C
Tempo de prensagem	3 a 6 min dependendo da espessura da chapa.
Densidade da chapa	630 a 670 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: MENDES (2001).

De acordo com a SBA (2003), no mercado norte-americano as chapas são manufaturadas para atenderem aos padrões físico-mecânicos normativos do “U. S. Department of Commerce Voluntary Performance Standard” (norma PS 2-92) e /ou “Canadian Performance Standard” (norma CSA 0325 e CSA 0437.0) e certificadas

principalmente pelas agências APA “*Engineered Wood Association*” e TECO “*Timber Company*”.

Na Europa as chapas OSB são manufaturadas nos padrões “*European Standard*” (norma EN-300) e certificados por agências nacionais de certificação. No Japão, os painéis devem atender as exigências da JAS e podem ser certificados por agências norte-americanas.

MENDES (2001), apresenta no seu trabalho os valores mínimos das propriedades físico-mecânicas de acordo com o padrão canadense O437. 0 (*Canadian Standards Association – Test Methods for OSB and Waferboard*), apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS CHAPAS OSB SEGUNDO NORMA CANADENSE CSA 0437-0 (VALORES MÍNIMOS).

PROPRIEDADES	O-2* (kgf/cm <sup>2</sup> )	O-1* (kgf/cm <sup>2</sup> )	R-1** (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Chapa Comercial</b>			
▲ Módulo de Elasticidade Paralelo	55000	45000	31000
▲ Módulo de Elasticidade Perpendicular	15000	13000	31000
▲ Módulo de Ruptura Paralelo	290	234	172
▲ Módulo de Ruptura Perpendicular	124	96	172
▲ Ligação interna	3,45	3,45	3,45
<b>Exposição à umidade</b>			
▲ Módulo de Ruptura Paralelo (após 2 horas de fervura)	145	117	86
▲ Módulo de Ruptura Perpendicular (após 2 horas de fervura)	62	48	86
<b>Inchamento em espessura (após 2 horas de imersão em água)</b>			
▲ Espessuras abaixo de 12,7 mm	15	15	15
▲ Espessuras acima de 12,7 mm	10	10	10

Fonte: Adaptado MENDES (2001) \* Categoria O: orientado; \*\* Categoria R: aleatório.

A Tabela 3 ilustra as especificações utilizadas para as chapas produzida no Brasil, a qual tem a TECO “*Timber Company*” como agência certificadora.

TABELA 3- PROPRIEDADES DAS CHAPAS OSB MASISA-BRASIL.

TIPO (nome comercial)	Espessura (mm)	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )		Tração (kgf/cm <sup>2</sup> )	Inchamento 24 h
		//	⊥		
	6 a 10			3,46	
<b>OSB HOME</b>	11 a 18	35690	14276	3,26	20 %
<b>OSB MULTIUSO</b>	19 a 25			3,05	
<b>Norma</b>	-	EN 310	EN 310	EN 319	PS-2

Fonte: Adaptado MASISA (2003); MOE - Módulo de Elasticidade; //- Paralelo; ⊥- Perpendicular.

## 2.4 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS OSB

### 2.4.1 Densidade da madeira e da chapa

Dentre as variáveis relacionadas à espécie de madeira, a sua densidade é considerada uma das mais importantes, por ser um dos componentes da razão de compactação, que é a relação entre a densidade da chapa e densidade da madeira utilizada na sua produção (MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

Para HSU (1997) citado por CLOUTIER (1998), a razão de compactação (razão de compressão) é estabelecida pela relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira, estando também relacionada com a espessura do colchão e espessura da chapa.

$$Rc = \frac{d_{chapa}}{d_{madeira}} = \frac{t_{colch\tilde{a}o}}{t_{chapa}}$$

Sendo:

Rc: razão de compactação;

$d_{chapa}$ : densidade da chapa ( $kg/m^3$ );

$d_{madeira}$ : densidade da madeira ( $kg/m^3$ );

$t_{colch\tilde{a}o}$ : espessura do colchão (mm);

$t_{chapa}$ : espessura da chapa (mm).

O mesmo autor descreve que, densidades mais baixas da madeira proporcionam uma razão de compactação mais elevada e, por conseguinte, uma maior superfície de contato entre as partículas em comparação à uma madeira de densidade mais alta. Portanto, o colchão produz um produto mais uniforme com uma capacidade maior de transmitir esforços entre as partículas. Isto resulta em propriedades de flexão e ligação interna mais elevada para chapas confeccionadas com madeira de baixa densidade.

De acordo com MALONEY (1993), as espécies de madeira com densidade de até  $0,55 g/cm^3$ , são as mais adequadas para produção de chapas de partículas, por atingirem a razão de compactação entre 1,3 a 1,6 considerada a faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do colchão de partículas até a espessura final da chapa.

Para MENDES (2001), partículas de espécies de madeiras densas, quando compactadas durante a prensagem produzem uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades das chapas necessitando alterar outras variáveis do processamento, como aumento do teor de resina o que aumenta o custo de produção.

Segundo KELLY (1977), as espécies de menor densidade possibilitam a produção de chapas de média densidade, assegurando uma área de contato satisfatório entre as partículas.

As madeiras do gênero *Pinus* são as mais utilizadas no Brasil para produção de chapas de partículas, devido à sua densidade situar-se na faixa média de 0,35 a 0,45  $g/cm^3$ . Além deste fator pesquisas têm demonstrado que o pH e o teor de extrativos



presentes na madeira de *Pinus*, não são fatores limitantes no processo produtivo de painéis particulados. No entanto, MENDES et al. (2002) observou que chapas OSB produzidas em laboratório, com a madeira de *Pinus chiapensis*, estouraram após a liberação da pressão na prensagem. O autor atribuiu este fato, aos valores altos encontrados de extrativos totais, observou também que esta madeira apresentava cerne evidenciando, fato este ,não muito comum ao gênero *Pinus*.

Outro aspecto positivo da madeira de *Pinus* é quanto a flexibilidade e planicidade das partículas geradas, principalmente nas de maiores dimensões, como as dos tipos “*wafer*” e “*strand*” favorecendo o processo de aplicação da resina, formação do colchão e área de contato entre as partículas.

De acordo com CLOUTIER (1998), as indústrias canadenses produzem chapas “OSB” com densidade entre 0,63 à 0,67 g/cm<sup>3</sup>. A influência da densidade das chapas sobre as suas propriedades físicas e mecânicas é altamente significativa. Chapas com maior densidade apresentam maior resistência mecânica, no entanto, a estabilidade dimensional é prejudicada.

O inchamento em espessura é maior para chapas de maior densidade, devido a maior quantidade de material lenhoso e maior densificação, resultando na maior liberação de tensões de compressão impostas durante a prensagem (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

ZHANG et al. (1998), encontraram um aumento nas propriedades de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e ligação interna, com o aumento da densidade das chapas de 0,60 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>. WU (1999), constatou a mesma tendência de aumento nestas propriedades, com o aumento na densidade das chapas na faixa de 0,55 a 1,15 g/cm<sup>3</sup>, sendo esta, de alta densificação.

### 2.4.2 Geometria das partículas

Os elementos dimensionais das partículas de madeira, considerados como variáveis do processo são: espessura, largura e comprimento.

O comprimento e a largura das partículas são parâmetros que controlam o grau de orientação na formação das chapas OSB. Em função de suas dimensões, as partículas do tipo “*strand*” proporcionam uma melhor orientação, quando comparados aos do tipo “*sliver*” ou “*flake*” (GEIMER, 1976).

Segundo MALONEY (1977), a relação entre o comprimento e largura das partículas *strand*, deve ser de no mínimo três vezes, para proporcionar uma boa orientação das partículas na formação da chapa.

Outra relação importante é entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada de razão de esbeltez, a qual exerce uma grande influência nas propriedades das chapas (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

O aumento na relação comprimento / espessura das partículas, ou seja, maior razão de esbeltez resultam em chapas com maior resistência à flexão estática. Por outro lado, com o aumento na espessura das partículas, mantendo-se o comprimento constante, ocorre o aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas para um mesmo teor de resina, conseqüentemente aumentando a propriedade de ligação interna (MALONEY, 1993).

A geometria das partículas representa uma função particular em facilitar ou dificultar a transferência do calor através da espessura do painel submetido a prensagem (MATOS, 1988).

Portanto, é importante que os elementos dimensionais das partículas sejam definidos de acordo com o tipo de painel e da qualidade desejada.

Estudos realizados por ZHANG et al. (1998), demonstraram que houve um aumento significativo nas propriedades de MOE e MOR, em chapas produzidas com partículas de 0,1mm de espessura nas camadas externas e de 0,5mm na camada interna.

### 2.4.3 Resina

De acordo com MARRA (1992), os principais tipos de resina utilizados pelas indústrias de painéis reconstituídos de madeira são: uréia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF), melamina-formaldeído (MF) e difenil-metano di-isocianato (MDI).

Para produção de OSB atualmente a mais empregada é a resina FF na forma de pó, porém um número crescente de indústrias vem utilizando a forma líquida, objetivando a reduzir os custos. A resina MDI é utilizada principalmente nas camadas internas das chapas (CLOUTIER, 1998).

A resina MDI desenvolve dois tipos de ligações, mecânica e química, este conjunto de ligações resulta em uma adesão muito mais forte em relação a outros tipos de resina. Sua desvantagem é de possuir aderência ao alumínio e alguns tipos de aço, causando problemas no sistema de telas que auxiliam na prensagem e partes da prensa, explicando assim, sua utilização na camada interna das chapas (CLOUTIER, 1998).

Até um determinado limite, os aumentos na quantidade de resina, resultam em chapas com melhores propriedades físico-mecânicas. A escolha de um determinado tipo de resina está condicionada às condições de uso do produto e custos. Por exemplo, as resinas FF e MF, são indicadas para produção de chapas para uso externo ou em ambientes com alta umidade relativa (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974).

Devido aos custos diferenciados e por ser a resina, o componente que representa um alto custo de produção, torna se muito importante a definição do tipo e quantidade de resina a serem utilizadas, no sentido de buscar uma otimização na relação custo-benefício. De acordo com as informações técnicas das indústrias, a resina fenol-formaldeído é utilizada na faixa de 4 a 6% na produção de chapas OSB (IWAKIRI 2003).

BRITO (1984), estudando chapas “*waferboard*” de *Pinus spp* encontrou incremento nas propriedades mecânicas e inchamento em espessura com o aumento do teor de resina fenólica de 4 para 8%.

Existe ainda a possibilidade de uso de resina melamina-formaldeído, como fortificante, em mistura com a resina uréia-formaldeído, para reduzir o custo e

melhorar a estabilidade dimensional das chapas. Atualmente, algumas indústrias produzem resinas compostas de melamina-uréia-formaldeído (MUF) e fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF) como alternativas para produção de chapas com melhor estabilidade dimensional e com custo relativamente inferior.

#### 2.4.4 Ciclo de prensagem

Os parâmetros do ciclo de prensagem são: pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem. A aplicação de uma pressão mínima é necessária para a densificação do colchão de partículas até a espessura final da chapa e, também, para assegurar um contato superficial adequado entre as partículas de madeira (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974).

O nível de pressão irá influenciar também no tempo de fechamento da prensa. Quanto maior a pressão específica aplicada, menor será o tempo de fechamento da prensa e, resultará em chapas com maior densificação das camadas superficiais, ou seja, maior gradiente vertical de densidade. Chapas com maior densificação das camadas superficiais apresentarão maior resistência à flexão estática, no entanto, a ligação interna será menor.

MATOS (1988), IWAKIRI (1989) e MENDES (2001), obtiveram painéis estruturais de boa qualidade para espécies de *Pinus spp* e resina fenólica, utilizando pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup>.

A temperatura de prensagem é definida em função do tipo de resina utilizada. A sua função é polimerização e cura da resina, além de auxiliar na compactação do colchão de partículas até a espessura final da chapa, através do processo de plasticização da madeira, reduzindo a sua resistência à compressão (MARRA, 1992; KELLY, 1977).

Para resina uréia-formaldeído, a temperatura de cura situa-se na faixa de 95 a 120°C, enquanto que para resina fenol-formaldeído, a temperatura indicada encontra-se entre de 130 e 150°C (IWAKIRI 2003).

Para CLOUTIER (1998), no processo industrial de chapas OSB emprega-se temperaturas de prensagem na faixa de 200 a 220°C, para colagem à base de resina fenol-formaldeído. As altas temperaturas possibilitam maior transferência de calor para as camadas internas da chapa, reduzindo substancialmente o tempo de prensagem e aumentando a produtividade.

O tempo de prensagem deve ser o suficiente para que o centro da chapa atinja a temperatura necessária para a cura da resina e exerce influências significativas sobre as propriedades das chapas, controle de espessura, qualidade da superfície, durabilidade da cola e pré-cura (MARRA, 1992).

Para MATOS (1988), quando espaçadores são empregados na prensagem de painéis de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa, até a abertura da prensa. O mesmo autor relata que o tempo de fechamento da prensa é o tempo de compressão das partículas desde o contato dos pratos da prensa com o material, até atingir a espessura desejada.

Segundo KELLY (1977), um tempo muito longo de fechamento faz com que a resina nas partículas em contato com os pratos aquecidos da prensa polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do material e ocasionando a pré-cura nas camadas superficiais, o que reduz as propriedades de resistência das chapas.

O tempo de prensagem necessário está também relacionado à liberação do vapor d'água do interior para as bordas da chapa, no sentido de evitar a sua delaminação no momento de abertura dos pratos da prensa.

#### **2.4.5 Reforço Laminar Superficial**

Uma técnica bastante aplicada para melhoria de resistência mecânica e estabilidade dimensional dos painéis particulados é o reforço laminar superficial, comercialmente designada como “*Com-ply*”. Esse produto inicialmente foi

desenvolvido pelo *USDA Forest Service*, na década de 70, sendo um painel constituído de um miolo formado por partículas ou flocos de madeira com disposição aleatória ou orientada, com as faces constituídas de lâminas de madeira (MALONEY, 1996).

As chapas de madeira reconstituída fabricadas com miolo de partículas tem sido confeccionadas e comercializadas desde 1976 nos Estados Unidos. A principal justificativa para o desenvolvimento deste tipo de painel é o de permitir a utilização de considerável volume de partículas provenientes de espécies de qualidade inferior que não podem ser destinadas para outros usos (BIBLIS e MANGALOUSIS, 1983).

Pesquisas realizadas por KEINERT JR. (1990), BRITO (1995) e IWAKIRI et al. (1999), demonstraram que a aplicação de lâminas de madeira na superfície de aglomerado convencional, aumenta a resistência à flexão estática no sentido paralelo à orientação das fibras das lâminas, além de melhorar a estabilidade dimensional.

BIBLIS e MANGALOUSIS (1983), realizaram investigações sobre alternativas para o uso de algumas espécies de folhosas (*souther oaks*) e misturas com coníferas (*southern pine*). Produziram dois lotes de chapas compostas, sendo um com miolo de partículas “*strands*” 100% em carvalho (*oak*) orientados e outro com mistura de 30 % *Pinus spp*, ambos os lotes foram revestidos com lâminas de *Pinus spp* (*southern pine*) de aproximadamente 3 mm de espessura direcionadas perpendicularmente a orientação do miolo. Após a realização dos testes físico-mecânicos os autores concluíram que as chapas produzidas com miolo particulado e revestimento laminar, seus valores são iguais ou superiores quando comparados aos compensados estruturais encontrados no mercado local, sendo este tipo de chapa de miolo particulado e revestimento laminar um bom produto para uso estrutural.

BIBLIS, GRIGORIOU e CARINO (1996), observaram melhoras significativas nas propriedades de flexão estática e estabilidade dimensional, através do reforço laminar superficial em chapas de partículas. Em seu estudo eles utilizaram chapas OSB disponíveis no mercado local em duas espessuras (12 e 18 mm); revestindo-as em ambas as faces com lâminas de *Pinus spp* (*yellow pine*) de 3 mm de espessura encoladas com resina fenólica. A reforço laminar superficial foi realizada em duas formas: 1) Tipo A formando uma chapa composta por miolo em OSB de 12 mm,

lâminas de pinus em ambas as faces com as fibras dispostas paralelamente à orientação das partículas “*strand*”; 2) Tipo B chapas com miolo em OSB de 18 mm, lâminas em ambas as faces dispostas perpendicularmente à orientação das partículas “*strand*” do miolo.

Os autores relatam que, em flexão estática paralela ao sentido das lâminas para chapas do tipo B, os valores de MOE e MOR foram superiores em 96 e 117% respectivamente quando comparadas a chapas OSB comerciais de mesma espessura. Este mesmo tipo de chapa em flexão perpendicular os valores de MOE e MOR também superam as chapas comerciais em 8 e 38% respectivamente. Para o inchamento em espessura as chapas revestidas promoveram uma substancial redução dos valores percentuais da propriedade, quando comparadas as chapas comerciais OSB de mesma espessura.

## **2.5 PROPRIEDADES DAS CHAPAS OSB**

### **2.5.1 Módulos de Elasticidade e Ruptura em flexão estática**

PARKER (1979) citado por KLOCK (2000), relata que o Módulo de Elasticidade (MOE) expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm<sup>2</sup> de área transversal de uma distância igual ao seu próprio comprimento. O módulo de elasticidade é apenas um valor teórico introduzido para maior facilidade de cálculos. Na realidade nunca se consegue uma deformação da grandeza do corpo, pois antes disto acontecer dá-se a ruptura do material. O mesmo autor relata que embora o MOE não ofereça informações reais sobre o material, deduz-se que, quanto mais alto o valor de MOE mais alta resistência do material e mais baixa a deformabilidade do material.

Para IWAKIRI (1989), MOE é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço. Já para Módulo de Ruptura (MOR) o autor relata que é uma propriedade muito importante que determina a aplicabilidade das chapas de partículas para uso estrutural.

MATOS (1997), relata que o Módulo de Ruptura (MOR) é a medida da resistência oferecida pela madeira (vigas) a esforços de flexão. Expressa o esforço máximo sobre as fibras nos extremos superiores e inferior da seção transversal da madeira (viga). Os valores de MOR são utilizados para obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de utilização da madeira.

Segundo KELLY (1977), o modulo de elasticidade e de ruptura são afetados de forma similar pelas diversas variáveis de processamento. O aumento da massa específica dos painéis, orientação das partículas e conteúdo de resina geralmente afetam ambas as propriedades simultaneamente.

### **2.5.2 Ligação interna**

A resistência da ligação interna é uma propriedade amplamente estudada em todas as pesquisas de chapas de partículas. Quando uma amostra é testada em tração perpendicular normalmente ocorre a ruptura na porção média da sua espessura, que corresponde a região de menor densidade e ligação entre partículas (IWAKIRI, 1989).

Para MATOS (1988), a ligação interna serve como parâmetro para avaliação da agregação interna das partículas e da eficiência da colagem das chapas.

Vários autores relatam em seus estudos de que a ligação interna tem valores elevados quando se aumenta a densidade do painel, o teor de resina, o tempo e temperatura de prensagem.



MENDES (2001), menciona que a adição excessiva de parafina na chapa, promove a redução da ligação interna, devido à interferência da parafina sobre a polimerização da resina.

### **2.5.3 Absorção de água e inchamento em espessura**

As propriedades físicas de absorção de água e inchamento em espessura são dadas pela expressão percentual da quantidade de água e o inchamento em espessura, após períodos de 2 e 24 horas de imersão em água, sendo importantes indicadores da estabilidade dimensional das chapas reconstituídas de madeira.

De acordo com MEDINA (1986) citado por PIO (1996), o inchamento em espessura em painéis de madeira é formado por duas variáveis, o inchamento simples devido a absorção de água e o causado pela liberação das tensões de prensagem.

O mesmo autor ainda relata que, durante o processo de prensagem ocorrem um aumento da densidade e das tensões internas do painel, fatores que podem comprometer a estabilidade dimensional, pois quando o painel absorve água, parte das tensões são liberadas e conseqüentemente, quando perde umidade não retorna a sua espessura original.

Diversos autores relatam, em seus estudos, que o inchamento é afetado diretamente por fatores como: espécie de madeira, geometria de partícula, densidade do painel, nível de resina e ciclo de prensagem. No entanto para KELLY (1977), e autores citados por MENDES (2001), relatam uma relação muitas vezes contraditória destes fatores no comportamento das chapas.

#### **2.5.4 Taxa de não retorno em espessura (*Spring-back*)**

IWAKIRI (1989) citado por MENDES (2001), indica que a exposição do painel a um ciclo de alta e baixa umidade relativa gera um inchamento residual, promovido pela liberação das tensões de compressão, impostas no momento da prensagem dos painéis. Relatando ainda que este efeito pode ser reduzido por intermédio de tratamentos térmicos como: pós-vaporização e pós-aquecimento.

MATOS (1988), estudando chapas estruturais de *Pinus taeda* em diferentes condições de prensagem, indicou a influência da umidade no colchão e da parafina sobre o inchamento residual. Chapas produzidas com acréscimo de parafina a 1% obtiveram um decréscimo no inchamento residual.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATÉRIA-PRIMA

A espécie empregada para a geração das partículas neste estudo, foi o *Pinus taeda* L., com 30 anos de idade, procedente de povoamento homogêneo localizado na Estação Experimental do Cangüiri da Universidade Federal do Paraná UFPR, Município de Pinhais-Pr. A espécie foi devidamente catalogada no Herbário do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da UFPR sob o número 9607.

As lâminas de madeira empregadas no estudo foram de *Pinus taeda* L. com 30 anos de idade, procedente da Floresta Nacional de Irati, Município de Irati - Pr.

Foram utilizados três tipos de resinas com as seguintes características:

▲ Fenol-Formaldeído (FF) com teor de sólidos de 45%, pH = 12 e viscosidade de 220 cP;

▲ Melamina-Uréia-Formaldeído (MUF) com teor de sólidos de 66,15%, pH = 7,5 e viscosidade de 210 cP;

▲ Fenol Melamina-Ureia-Formaldeído (PMUF) com teor de sólidos de 60,7%, pH = 9,5 e viscosidade de 200 cP.

Na Tabela 4 estão apresentadas as características fornecidas pelas empresas produtoras destas resinas.

TABELA 4 - CARACTERISTICAS DAS RESINAS UTILIZADAS.

RESINA (nome comercial)	TIPO	ITENS						
		1	2 (%)	3 (cP)	4	5 (g/cm <sup>3</sup> )	6 (seg.)	7 (%)
CASCOPHEN OS-22	FF	LVV	50	150	11	1,234	15	
			a	a	a	a	a	-
CASCOMEL M-08-ME	MUF	LBL	52	250	13	1,243	25	
			65	150	7,5	1,282	50	
DYNOMEL HMP 296	PMUF	-	a	a	a	a	a	0,3
			67	210	8,0	1,294	80	
			64	160	9,4	1,290	80	
			a	a	a	a	a	0,18
			66	240	9,6	1,310	100	

1- Aspecto da resina; 2- Teor de sólidos; 3- Viscosidade; 4- pH; 5-Densidade; 6- Gel time; 7- Formol livre; LVV – Líquido vermelho viscoso; LBL – Líquido branco leitoso; cP – Centpoise, FF Fenol-formoldeído; MUF Melamina-ureiaformoldeído; PMUF Fenol-Melamina-ureiaformoldeído.

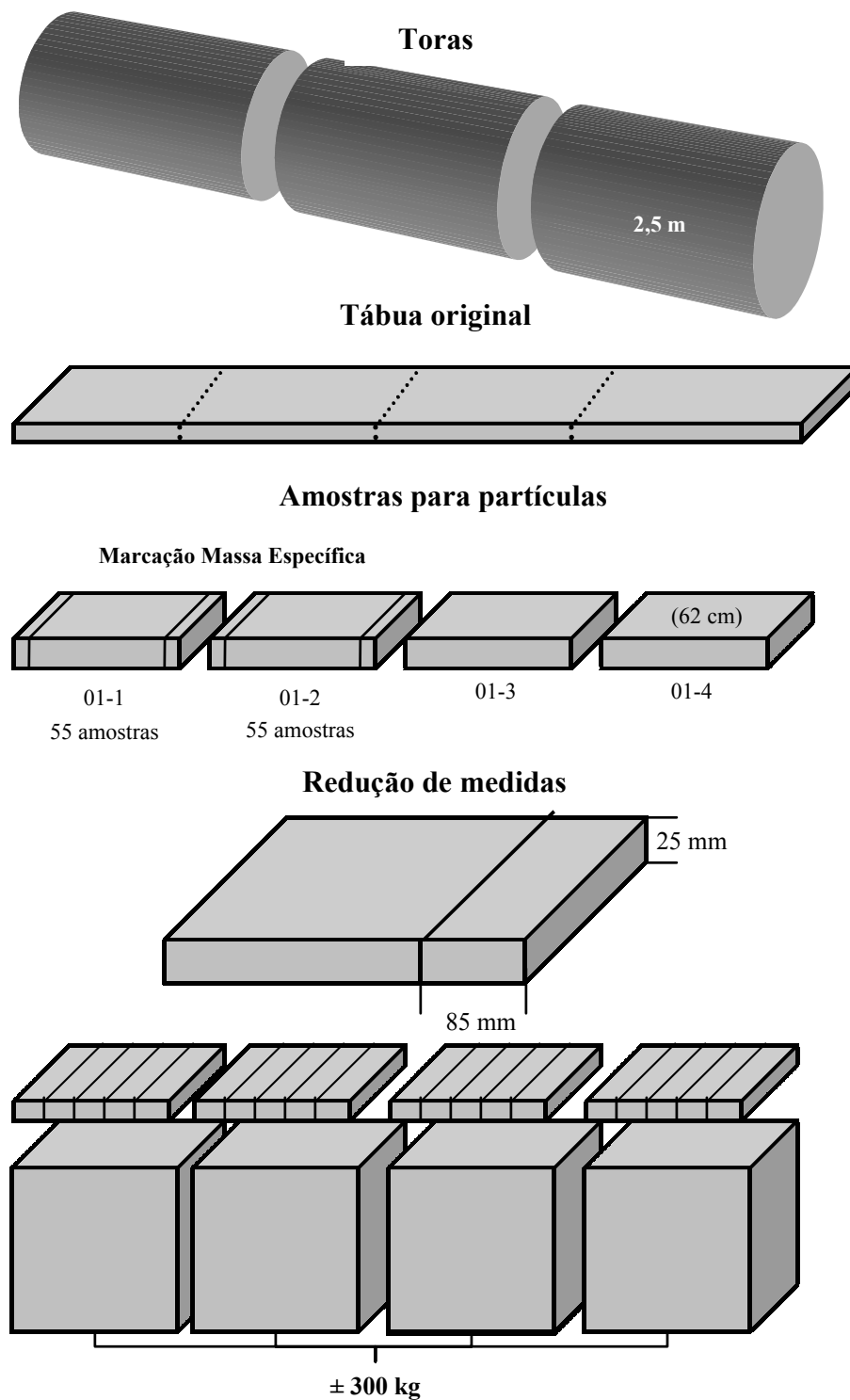
Fonte: BORDEN, DYNEA (2003).

### 3.1.1 Coleta do material

Foram selecionadas aleatoriamente e coletadas seis árvores de *Pinus taeda*, de cada árvore foram obtidos três toras com 2,5 m de comprimento. As toras foram serradas na Estação Experimental Canguiri da UFPR em tábuas com 36 mm de espessura e encaminhados ao Laboratório de Usinagem da Madeira da UFPR.

As lâminas foram fornecidas por empresas laminadoras da região de Irati - Pr, processadas em torno desfolhador com espessura média de 1,6 mm e dimensões de 1,22×2,44 m.

FIGURA 3- ESQUEMA DA COLETA DO MATERIAL PARA PARTÍCULAS.



### 3.1.2 Determinação da massa específica aparente da madeira

A massa específica aparente foi determinada na condição verde e seca, pelo método estereométrico, as peças após destopadas foram identificadas como ilustrado na Figura 3, pesadas em balança eletromecânica. Foram medidas a largura de cada peça duas vezes, próximo aos extremos com trena, e a espessura duas vezes em diagonal com paquímetro digital. Os locais medidos foram marcados para que as medidas fossem realizadas sempre na mesma posição. Com obtenção do volume e do peso inicial foi calculada a massa específica verde das peças. Posteriormente as mesmas peças foram secas e re-medidas, obtendo volume e peso à 12% subsídios para o cálculo da massa específica seca.

## 3.2 MANUFATURA DAS CHAPAS

### 3.2.1 Plano experimental

De acordo com os objetivos propostos neste estudo o plano experimental foi dividido em um tratamento considerado como padrão e em cinco fases distintas subsequentes. As chapas padrão serviram como parâmetro de referência, estabelecido com base em estudos realizados anteriormente por MENDES (2001) e IWAKIRI et al. (2003). As chapas foram produzidas nas seguintes condições:

- ▲ Resina fenol-formaldeído (FF);
- ▲ Geometria de partícula 25×85×0,7 mm;
- ▲ Densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup>,
- ▲ Pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup>;
- ▲ Temperatura de prensagem: 180°C;
- ▲ Tempo de prensagem: 8 minutos.

Quanto às fases subsequentes foram utilizadas as seguintes variáveis de processamento:

- ▲ **Fase 1: Geometria das partículas** - partículas com 0,4 e 1mm de espessura;
- ▲ **Fase 2: Densidade nominal** – 0,90 g/cm<sup>3</sup>;
- ▲ **Fase 3: Pressão específica** – 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup>;
- ▲ **Fase 4: Tipo de resina** – fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF) e melamina-uréia-formaldeído (MUF);
- ▲ **Fase 5: Reforço laminar superficial**– revestimento de ambas as faces das chapas com lâminas de *Pinus taeda.*, dispostas perpendicularmente à orientação das partículas do miolo.

Com a combinação das variáveis relacionadas acima obteve-se um total de nove tratamentos, com quatro chapas produzidas para cada tratamento, gerando um total de trinta e seis chapas.

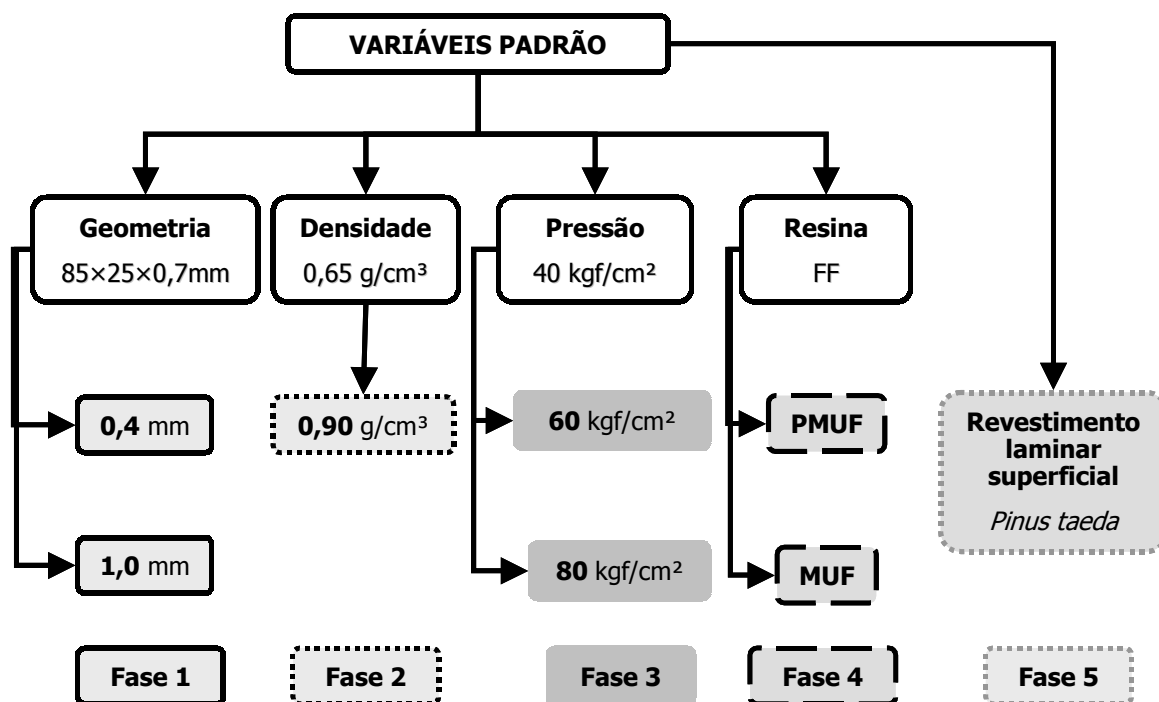
A Tabela 5 mostra o plano experimental utilizado neste estudo, representado graficamente na Figura 4.

TABELA 5 - PLANO EXPERIMENTAL

VARIÁVEIS PROCESSAMENTO	Ti	Geometria (esp.mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resina (6%)	Inclusão Laminar
<b>PADRÃO</b>	<b>1</b>	0,7	0,65	40	FF	-
<b>FASE 1</b>	<b>2</b>	<b>0,4</b>	0,65	40	FF	-
	<b>3</b>	<b>1,0</b>	0,65	40	FF	-
<b>FASE 2</b>	<b>4</b>	0,7	<b>0,90</b>	40	FF	-
<b>FASE 3</b>	<b>5</b>	0,7	0,65	<b>60</b>	FF	-
	<b>6</b>	0,7	0,65	<b>80</b>	FF	-
<b>FASE 4</b>	<b>7</b>	0,7	0,65	40	<b>PMUF</b>	-
	<b>8</b>	0,7	0,65	40	<b>MUF</b>	-
<b>FASE 5</b>	<b>9</b>	0,7	0,65	40	FF	<b>Lam-P-Lam</b>

Ti = tratamento; Esp. = espessura; 6% base peso seco de sólido resinoso; Lam-P-Lam = Lâmina-Partícula-Lâmina.

FIGURA 4- FLUXOGRAMA DO PLANO EXPERIMENTAL



### 3.2.2 Quantificação do material

Os dados básicos para a quantificação do material para a manufatura das chapas estão apresentados a seguir:

- ▲ Dimensões 480×480×15mm;
- ▲ 6% de resina (sólido) base peso seco das partículas;
- ▲ Ciclo de prensagem 8 minutos, temperatura 180° C;
- ▲ Colchão em três camadas com proporção face–miolo-face de 25:50:25;
- ▲ Teor de umidade de partículas a 3%;
- ▲ Geometria da partícula 25mm de largura e 85 mm de comprimento
- ▲ Umidade de equilíbrio das chapas 12%.

O detalhamento dos cálculos estão apresentados no ANEXO 1.



### 3.2.3 Obtenção das partículas e lâminas.

As tábuas obtidas na serraria da Estação Experimental da UFPR foram aplainadas e serradas em peças de 180×85×25mm. As peças ficaram em imersão em água por quinze dias para facilitar a posterior geração das partículas.

As partículas do tipo “*strand*” foram geradas em um picador rotativo de quatro facas, onde foram ajustadas para gerarem partículas com espessuras de 0,7 mm e posteriormente, para as partículas da Fase 1, com regulagens para espessuras de 0,4 mm e 1 mm.

Para as lâminas efetuou-se a redução das dimensões nominais de 1,22×2,44m para 480×480mm.

### 3.2.4 Secagem das partículas

A secagem das partículas foi efetuada em duas etapas. Na primeira, utilizou-se uma estufa experimental de capacidade de 1m<sup>3</sup> com controle automático de secagem. A Figura 4 mostra o aparato utilizado para a secagem. A umidade das partículas foi reduzida à aproximadamente 3% base peso seco.

Na segunda etapa, efetuou-se uma classificação das partículas por peneiramento, para a retirada dos “finos”, e uma secagem em estufa com ventilação forçada à 103 ± 2°C por 48 horas até umidade final de 3%. Após secas, as partículas foram acondicionadas em embalagens plásticas e fechadas hermeticamente, para não absorverem umidade do ambiente.

As lâminas foram secas até o teor de umidade de 3-4 % base peso seco, utilizando a mesma estufa com ventilação forçada, à 103 ± 2°C por 48 horas.

FIGURA 5 - APARATO UTILIZADO NA SECAGEM DAS PARTÍCULAS (PRIMEIRA ETAPA).

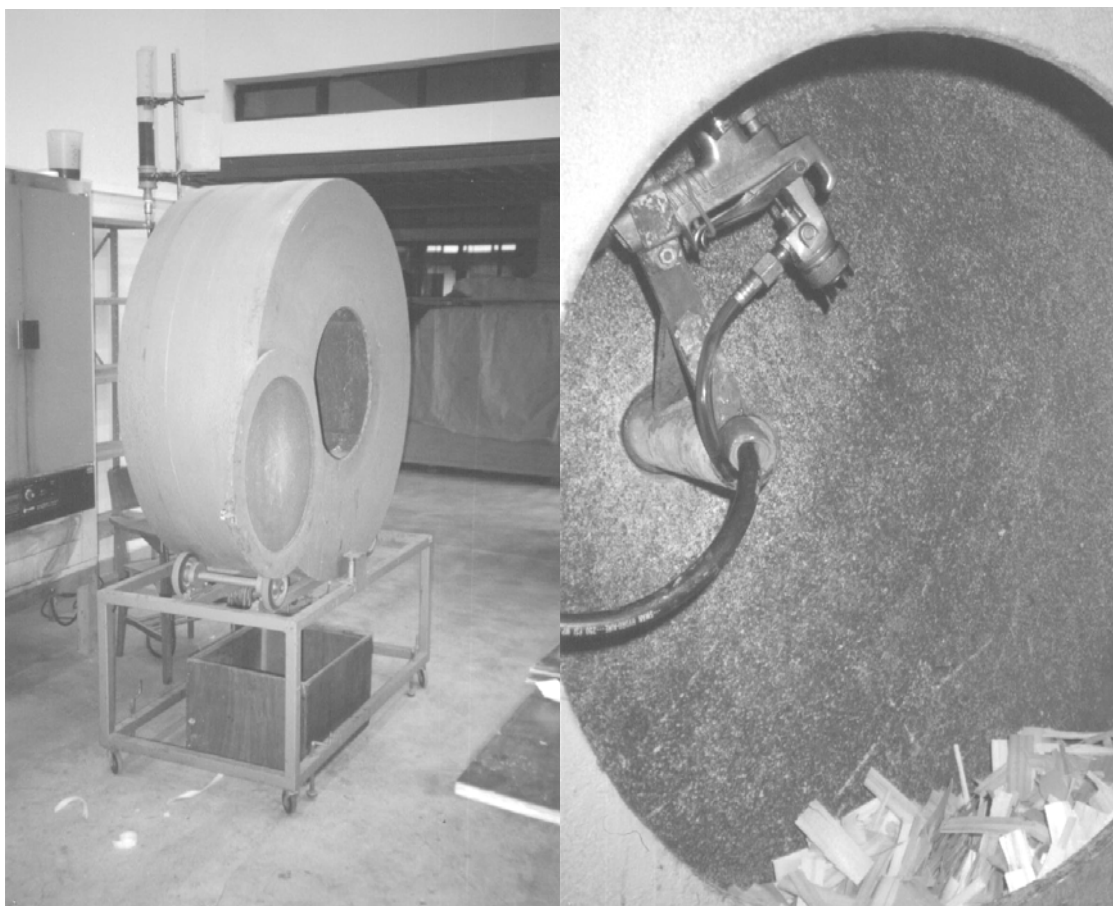


### 3.2.5 Aplicação da resina

Para a aplicação da resina, utilizou-se uma encoladeira de laboratório do tipo tambor rotativo, dotada de copo graduado para o acondicionamento da quantidade de resina necessária para uma chapa e de uma pistola de baixa pressão a qual por aspersão, distribuiu a resina sobre as partículas. A Figura 5 mostra em detalhes a encoladeira utilizada.

No tratamento da Fase 5, referente a colagem das lâminas, utilizou-se a resina fenol-formaldeído (FF) com a formulação de cola indicada para chapas compensadas. A aplicação nas lâminas foi feita de forma manual por espátulas plásticas, espalhando uniformemente, a quantidade de cola sobre uma das faces da lâmina. Adotou-se o tempo de montagem de aproximadamente 10 minutos.

FIGURA 6 - DETALHES EXTERNOS E INTERNOS DA ENCOLADEIRA.



### 3.2.6 Formação do colchão

Para a orientação das partículas “*strand*” utilizou-se uma caixa orientadora de partículas, onde eram depositadas as partículas na proporção estipulada para cada camada. Esta foi acoplada sobre a caixa formadora, a qual, acondiciona as partículas já orientadas, formando assim o colchão. A altura de queda das partículas foi regulada para aproximadamente 280mm.

Para os tratamentos da Fase 5, referente a inclusão laminar, foram colocadas duas lâminas em cada uma das faces da chapa, uma antes da formação da primeira camada e a segunda após a deposição da ultima camada. As partículas nestes tratamentos formaram apenas uma camada com todas elas orientadas no mesmo sentido, e esta, foi disposta perpendicularmente à grã das lâminas utilizadas nas faces.

Este sistema de caixa orientadora e caixa formadora é baseado em trabalhos anteriores apresentados por MENDES 2001; IWAKIRI et al 2003, como ilustrado na Figura 6.

FIGURA 7 SISTEMA DE CAIXA ORIENTADORA DE PARTÍCULAS E CAIXA FORMADORA DO COLCHÃO.

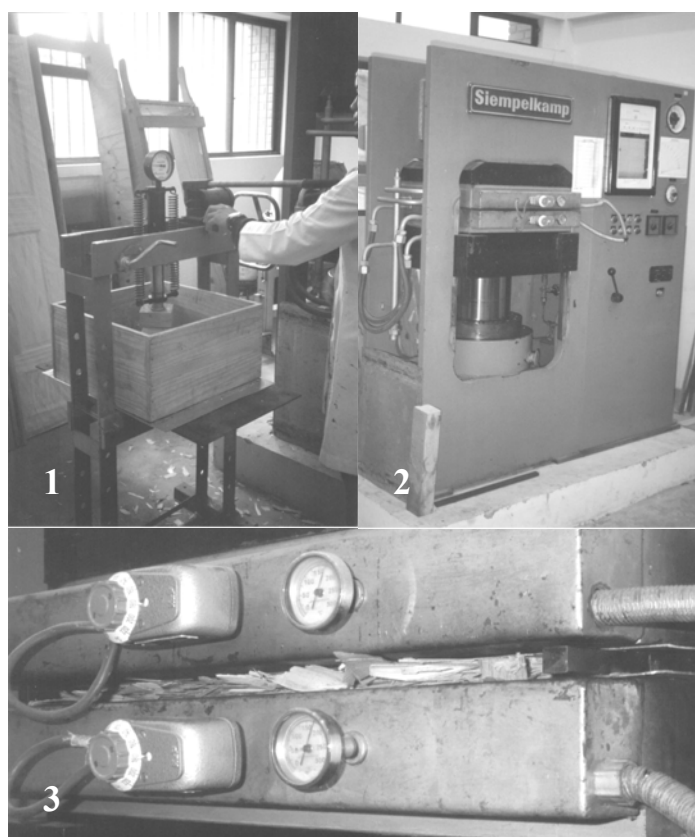


### 3.2.7 Prensagem

O processo de prensagem das chapas foi realizado de acordo com os procedimentos a seguir: inicialmente efetuou-se a retirada do colchão da caixa formadora aplicando uma pré -prensagem em prensa manual a frio, objetivando a redução da espessura do colchão e melhor acomodação das partículas. A seguir, o colchão foi submetido a prensagem a quente em prensa laboratorial hidráulica com controle de temperatura e pressão específica.

A temperatura e tempo de prensagem foram de 180 °C e 8 minutos, respectivamente, com pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup>, exceto para Fase 3. O processo de prensagem é ilustrado na Figura 7.

FIGURA 8 - PROCESSO DE PRÉ-PRENSAGEM E PRENSAGEM A QUENTE DAS CHAPAS



1-Pré -prensagem a frio; 2- Prensa a quente;  
3- Detalhe dos termostatos e pratos.

### 3.2.8 Acondicionamento

Após a prensagem, as chapas foram devidamente identificadas e levadas para o Laboratório de Usinagem da Madeira para ajuste das dimensões laterais, de 480×480 mm para 420×420 mm.

Posteriormente foram conduzidas à câmara de climatização a uma temperatura de  $20 \pm 3$  °C e umidade relativa de  $\pm 65\%$ , até a estabilização das chapas a uma umidade de equilíbrio em torno de 12%.

### 3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS CHAPAS

Os corpos-de-prova foram confeccionados, conforme a distribuição e quantidades para cada chapa, como ilustrados na Figura 8.

As seguintes propriedades físico-mecânicas foram avaliadas de acordo com os procedimentos descritos nas normas ASTM e DIN:

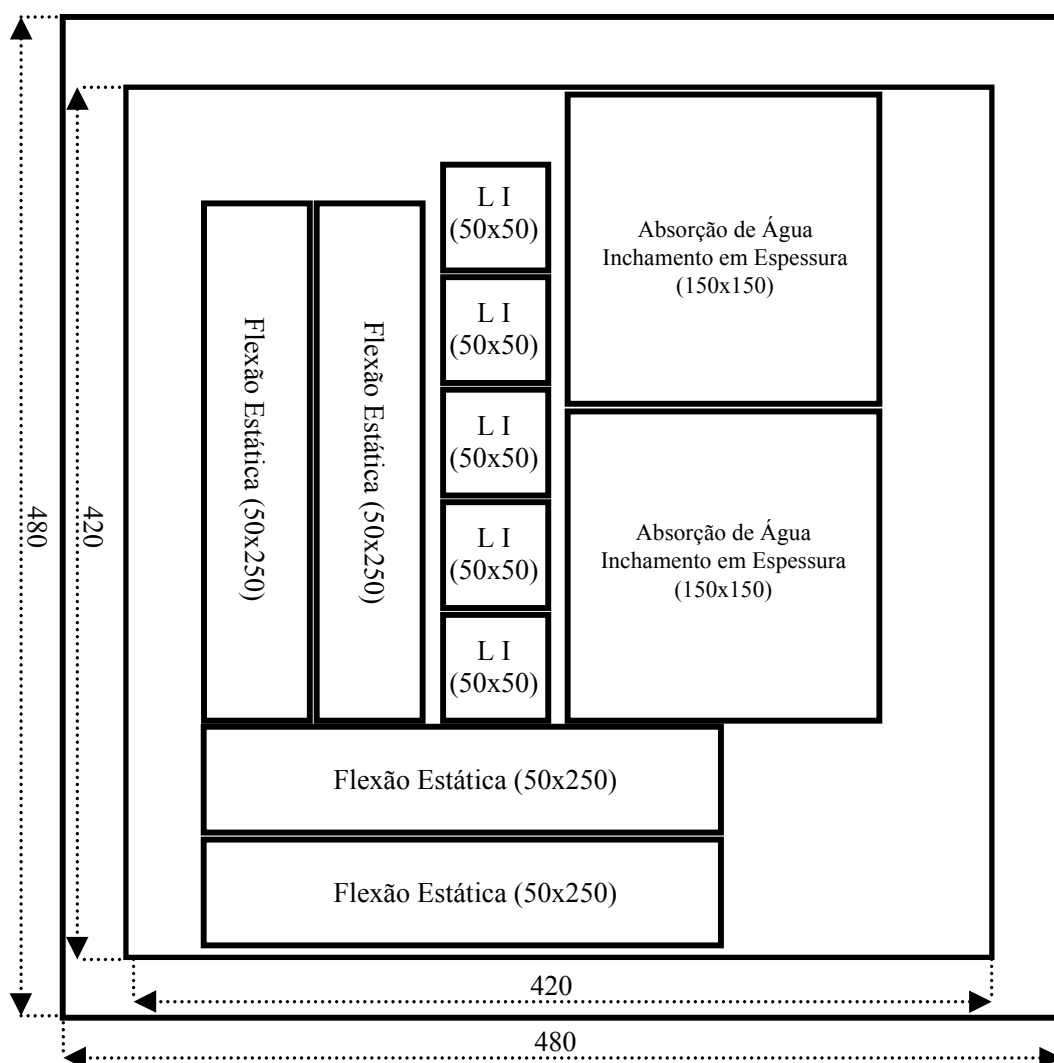
#### 1-PROPRIEDADES MECÂNICAS:

- ▲ Flexão estática (MOE): norma DIN 52362, 1982;
- ▲ Flexão estática (MOR): norma DIN 52362, 1982;
- ▲ Ligação interna (LI): norma ASTM D1037-28, 1980.

#### 2- PROPRIEDADES FÍSICAS:

- ▲ Absorção de água (AA): norma ASTM D1037-100, 1980;
- ▲ Inchamento em espessura (IE): norma ASTM D1037-100, 1980;
- ▲ Tacha de não retorno em espessura (TNRE).

FIGURA 9- ESQUEMA DE AMOSTRAGEM E CORTE DOS CORPOS-DE-PROVA NAS CHAPAS, VALORES EXPERESSOS EM MILÍMETROS.



### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a realização dos ensaios físico-mecânicos, os valores obtidos foram analisados através de análise de variância e teste de médias (Tukey) ao nível de significância de 5%.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

A massa específica aparente média da madeira de *Pinus taeda* foi de 0,475 g/cm<sup>3</sup> com coeficiente de variação médio de 11,29 % e uma amplitude encontrada de 0,38 à 0,57 g/cm<sup>3</sup>. A variação encontrada pode ter ocorrido devido a diferença existente entre as amostras, com relação a porcentagem de lenho tardio e a presença de madeira juvenil.

O teste de comparação de médias demonstrou que não houve diferença estatística entre os valores médios obtidos nas tábuas.

Os valores da massa específica aparente da espécie *Pinus taeda* estão de acordo com os encontrados por MUÑIZ (1993), os quais variaram de 0,42 a 0,52 g/cm<sup>3</sup> e por TOMASELLI (1979) citado por MATOS (1997), que encontrou um valor médio de 0,52 g/cm<sup>3</sup>.

### 4.2 DENSIDADE DAS CHAPAS

Comparando-se estatisticamente os valores de densidades médias obtidas para os corpos-de-prova dos nove tratamentos, pode-se constatar que apenas a média do tratamento 4 diferiu estatisticamente das demais, fato esperado, pois tomou-se como base de variação a densidade da chapa, estabelecida em 0,90 g/cm<sup>3</sup>.

Não ocorreram diferenças estatísticas significativa dentro e entre os tratamentos para chapas de mesma densidade indicando, assim, uma uniformidade nos procedimentos adotados em escala laboratorial, eliminado a necessidade de ajustes por meio de análises de covariância.

As razões de compactação obtidas neste estudo foram de 1,38 e 1,91 para chapas de densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> e 0,90 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, resultados concordantes



ao mencionado por MALONEY(1993), para chapas de partículas, indicando um valor mínimo de 1,3.

Os valores médios e os coeficientes de variação da densidade das chapas estão apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DAS DENSIDADES DAS CHAPAS.

TRATAMENTOS	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
1	0,67 A	7,52
2	0,66 A	8,94
3	0,64 A	9,90
4	0,82 B	10,19
5	0,70 A	12,95
6	0,68 A	6,25
7	0,63 A	11,61
8	0,67 A	6,58
9	0,68 A	8,50

CV-Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

### 4.3. FASE 1 - INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS PARTÍCULAS

#### 4.3.1 Propriedades mecânicas

##### Módulos de Elasticidade e Ruptura

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito espessura das partículas para módulos de elasticidade e ruptura, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 9.

Os valores médios de MOE no sentido paralelo não foram afetados significativamente pela variação na espessura das partículas. Analisando o MOE no sentido perpendicular este apresenta uma tendência de aumento nos valores das médias

absolutas quando reduzida a espessura da partícula. Fato comprovado principalmente quando confrontados os valores obtidos para chapas com partículas de espessura 0,4 mm (T2) com às de 1,0 mm (T3). As chapas com partículas de 0,4 mm foram estatisticamente superiores e apresentaram a maior média absoluta. Porém quando chapas com partículas de espessuras 0,4 e 1,0mm são comparadas com às de 0,7 mm (T1) ambas variações na espessura são estatisticamente iguais.

Esta tendência nos resultados vão de encontro com os encontrados por IWAKIRI (1989) e MOSLEMI (1974) onde razões de esbeltez maiores, proporcionam uma maior área de contato entre as partícula (maior taxa de compressão) melhorando substancialmente a resistência à flexão estática.

Para o MOR no sentido paralelo ambas as variações na espessura das partículas 0,4 e 1,0 mm resultaram em valores médios estatisticamente inferiores quando comparados aos obtidos em chapas com partículas de espessura 0,7 mm. Já para MOR no sentido perpendicular há uma tendência de aumento nos valores das médias absolutas ,como observado em MOE perpendicular, quando utilizadas partículas de 0,4 mm de espessura.

Como observado na Figura 9, os valores obtidos para MOE e MOR no sentido paralelo são superiores em relação ao sentido perpendicular. Fato este influenciado principalmente pela composição da chapa em camadas cruzadas (face/miolo/face). Esta diferença indica a eficiência na orientação das partículas.

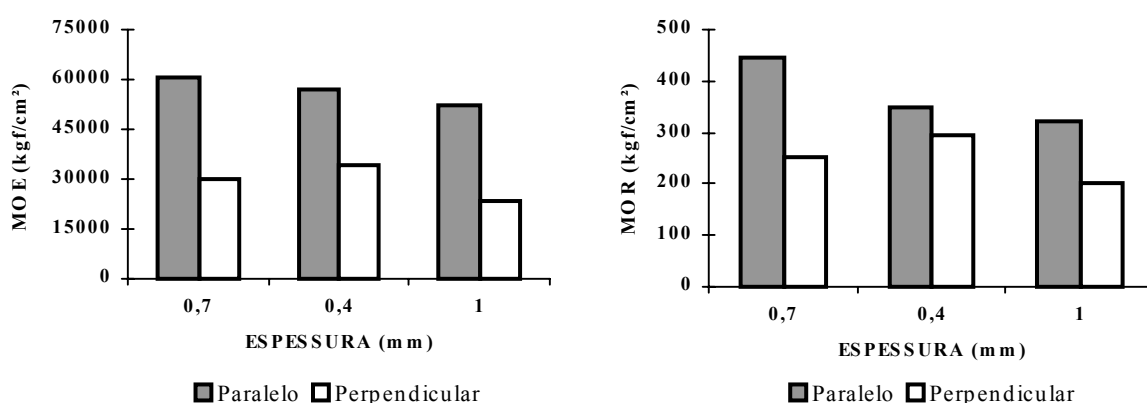
Os valores de flexão estática obtidos nesta fase são superiores em relação aos especificados para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil, e apenas o valor de MOE no sentido paralelo em chapas com partículas de 1,0 mm, encontra-se abaixo do recomendado como mínimo pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 7 – INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).

Espessura de Partículas (mm)	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	//		⊥	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
0,7	60699,2 A	6,22	29773,5 AB	28,28
0,4	56764,9 A	22,32	34237,3 B	11,48
1,0	52302,1 A	15,64	23145,6 A	18,48
	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )			
0,7	445,1 B	18,62	250,7 AB	38,02
0,4	347,2 A	16,26	295,5 B	12,36
1,0	321,3 A	23,69	201,7 A	31,26

CV - Coeficiente de variação; // Sentido paralelo, ⊥ Sentido perpendicular. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 10- HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA ESPESSURA DE PARTÍCULAS.



### Ligação Interna

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios de ligação interna e seus respectivos coeficientes de variação do efeito espessura das partículas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 10.

Os valores de ligação interna para a espessura de 1.0 mm foram estatisticamente superiores em relação a partículas com 0,7 e 0,4 mm. Observa-se ainda que chapas de 0,4 mm de espessura diferiram estatisticamente quando comparados aos de partículas

com 0,7 mm. Este fato ocorre devido a redução da razão de esbeltez, conseqüentemente redução da área superficial das partículas, aumento da disponibilidade de resina por área de partícula, aumentando assim a ligação interna. Os resultados são concordantes aos apresentados por MALONEY (1993). O autor descreve que o aumento na espessura mantendo-se o comprimento da partícula constante ocorre uma redução na área das partículas, ocasionando o aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas para um mesmo teor de resina, conseqüentemente proporcionando um aumento na propriedade de ligação interna.

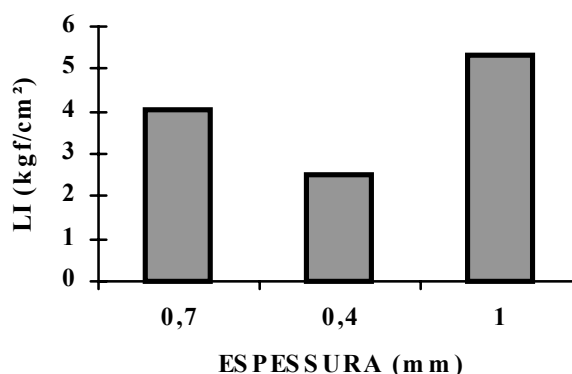
A ligação interna das chapas com partículas de 1,0 mm é superior em relação ao especificado para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil, como também ao valor recomendado pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 8– INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.

Espessura de Partículas (mm)	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	MÉDIA	CV (%)
0,7	4,03 B	29,73
0,4	2,52 A	36,94
1,0	5,30 C	29,37

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 11- HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA ESPESSURA DE PARTICULAS.



### 4.3.2 Propriedades físicas

#### Absorção de Água e Inchamento em Espessura

Na Tabela 9 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito espessura das partículas para absorção de água e inchamento em espessura 2 horas e 24 horas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 11.

Pode-se observar que ambas variações na espessura das partículas de 0,4 e 1,0 mm, absorveram quantidades estatisticamente superiores de água no final das 24 horas de ensaio, em relação à partículas de 0,7 mm.

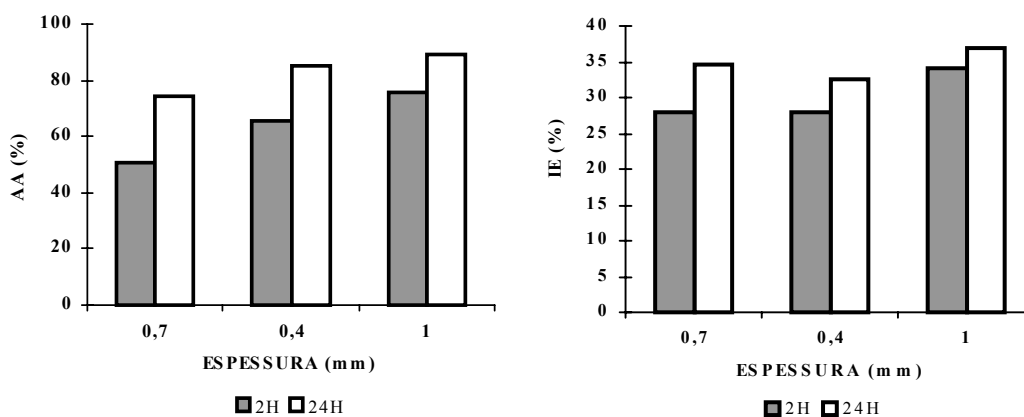
O inchamento em espessura nas primeiras 2 horas foi prejudicado por uma maior espessura das partículas com 1,0 mm (T3), mas após a 24 horas de ensaio, todas as três espessuras foram estatisticamente iguais, podendo-se afirmar que a variação da espessura das partículas não influencia o inchamento em espessura.

TABELA 9 – INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.

Espessura de Partículas (mm)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
0,7	50,58 A	25,22	74,17 A	11,95
0,4	65,50 B	16,01	84,86 B	7,96
1,0	75,86 B	11,46	89,49 B	5,70
INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)				
0,7	27,95 A	13,98	34,65 A	13,03
0,4	28,04 A	7,23	32,64 A	5,82
1,0	34,14 B	15,70	36,87 A	16,44

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 12- HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA ESPESSURA DE PARTÍCULAS.



### Taxa de Não Retorno em Espessura

Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito espessura das partículas para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 12.

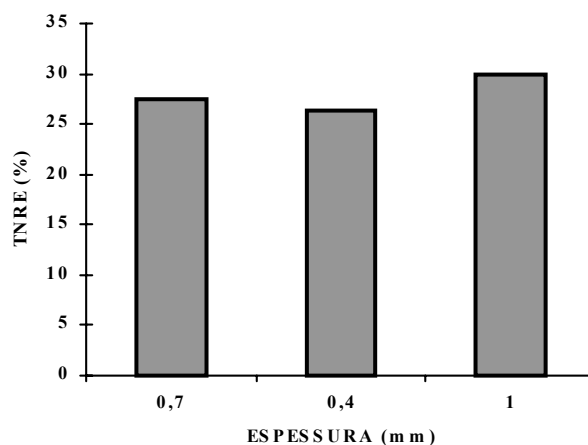
Seguindo a mesma tendência observada no inchamento em espessura, os valores de taxa de não retorno em espessura para partículas de 0,4, 0,7 e 1,0 mm não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

TABELA 10 – INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE PARTÍCULAS SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.

Espessura de Partículas (mm)	TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (%)	
	MÉDIA	CV (%)
<b>0,7</b>	27,55 A	15,41
<b>0,4</b>	26,42 A	8,83
<b>1,0</b>	28,98 A	18,12

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 13 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA ESPESSURA DE PARTÍCULAS.



#### 4.4. FASE 2 - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA

##### 4.4.1 Propriedades mecânicas

##### Módulos de Elasticidade e Ruptura

Na Tabela 11 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da chapa para módulos de elasticidade e ruptura, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 13.

Para o sentido perpendicular nas propriedades MOE e MOR pode-se notar que não ocorreu diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios obtidos. Este resultado contradiz aos mencionados na literatura, como SOBRAL FILHO (1981), ZHOW(1990), CANADIDO et al (1990), ZHANG et al. (1998), WU (1999) e MENDES (2001).

O aumento da densidade nominal da chapa para 0,90 g/cm<sup>3</sup> (T4) promoveu um aumento estatisticamente significativo nos valores das propriedades MOE e MOR no sentido paralelo, em relação as chapas com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup>, demonstrando que aumentando-se a densidade das chapas ocorre um aumento nas propriedades em flexão estática no sentido paralelo. Esta relação entre densidade da chapa e flexão estática (MOE e MOR) também foi observada em estudos como nos de ZHANG et.al (1998), variando densidades de chapas na faixa de 0,6 à 0,7 g/cm<sup>3</sup>; WU (1999) de 0,55 a 1,15 g/cm<sup>3</sup> e MENDES (2001) de 0,65 à 0,80 g/cm<sup>3</sup>

Todos os resultados obtidos em flexão estática nesta fase são superiores em relação aos especificados para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil, superam também os valores propostos pela norma canadense CSA 0437.

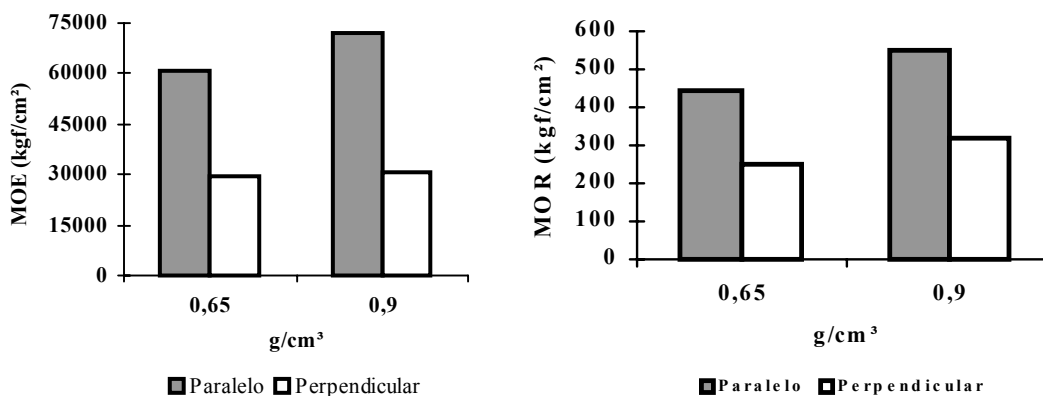
TABELA 11 – INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).

Densidade Nominal (g/cm <sup>3</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	//		⊥	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
<b>0,65</b>	60699,2 A	6,22	29773,5 A	28,28
<b>0,90</b>	71798,2 B	12,31	30874,7 A	17,05
	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )			
<b>0,65</b>	445,1 A	18,62	250,7 A	38,02
<b>0,90</b>	550,0 B	11,29	315,8 A	23,40

CV - Coeficiente de variação; // Sentido paralelo, ⊥ Sentido perpendicular. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.



FIGURA 14 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA.



### Ligação Interna

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios de ligação interna e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal. Os resultados estão representados graficamente na Figura 14.

A ligação interna das chapas com densidade 0,90 g/cm³ (T4) foram estatisticamente superiores em relação as chapas com 0,65 g/cm³ (T1). Tendência também observada pelos autores WU (1999) e MENDES (2001), onde afirmam que o aumento da razão de compactação, conseqüentemente, provoca um maior volume de partículas na composição da chapa, propiciando uma melhora na propriedade ligação interna.

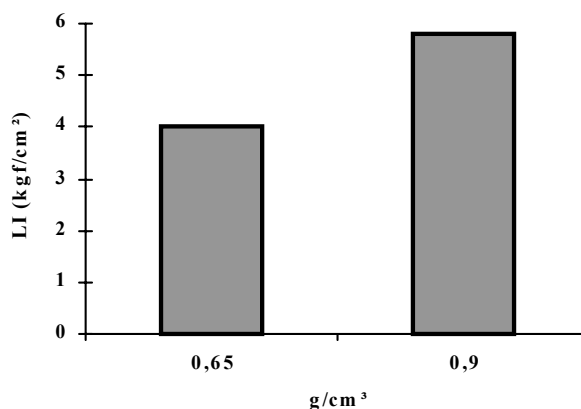
O resultado obtido pela densidade 0,90 g/cm³, para a propriedade ligação interna, foi superior em relação ao especificado para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil, como também ao valor recomendado pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 12 – INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.

Densidade Nominal (g/cm <sup>3</sup> )	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	MÉDIA	CV (%)
<b>0,65</b>	4,03 <b>A</b>	29,73
<b>0,90</b>	5,80 <b>B</b>	24,88

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 15 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA.



#### 4.4.2 Propriedades físicas.

##### Absorção de Água e Inchamento em Espessura

Na Tabela 13 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da chapa para absorção de água e inchamento em espessura 2 horas e 24 horas. Os resultados estão representados graficamente na Figura 15.

O aumento da densidade das chapas de 0,65 para 0,90 g/cm<sup>3</sup> ocasionou uma redução estatisticamente significativa em absorção de água, tanto para 2 como para 24 horas de imersão em água. Esta redução pode ser explicada pelo fato de que a velocidade penetração da água é inferior em função da maior quantidade de massa

lenhosa presente por volume nas chapas de densidade 0,90 g/cm<sup>3</sup>, formando um impedimento físico na absorção por capilaridade da água.

Alguns autores obtiveram resultados semelhantes incluindo MENDES (2001), porem ele relata que, esta tendência não é bem definida na literatura e dependendo da interação com outras variáveis do processo, pode ocorrer o inverso.

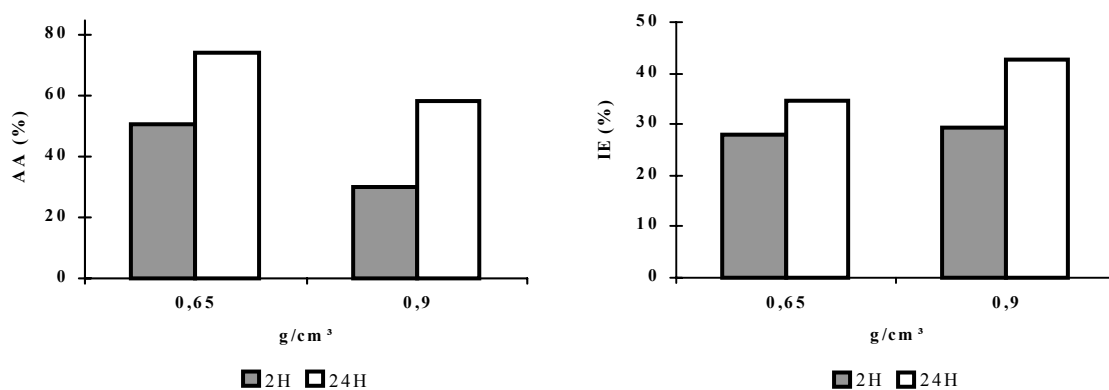
No que diz respeito ao inchamento em espessura o aumento da densidade (0,90 g/cm<sup>3</sup>), acarretou um aumento estatisticamente significativo no inchamento após as 24 horas de imersão em água, efeito este, decorrente da maior liberação das tensões de compressão impostas na prensagem, pois chapas mais densas possuem maior quantidade massa lenhosa por volume, assim maior razão de compactação. Resultados para as propriedades inchamento em espessura concordantes aos obtidos por MOSLEMI, (1974); KELLY, (1977) e MENDES (2001).

TABELA 13 – INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.

Densidade Nominal (g/cm <sup>3</sup> )	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
<b>0,65</b>	50,58 <b>B</b>	25,22	74,17 <b>B</b>	11,95
<b>0,90</b>	30,38 <b>A</b>	32,17	58,38 <b>A</b>	22,18
	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)			
<b>0,65</b>	27,95 <b>A</b>	13,98	34,65 <b>A</b>	13,03
<b>0,90</b>	29,43 <b>A</b>	14,67	42,78 <b>B</b>	9,47

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 16 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA.



### Taxa de Não Retorno em Espessura

Na Tabela 14 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito densidade nominal da chapa para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 16.

O aumento da densidade das chapas de 0,65 para 0,90 g/cm<sup>3</sup>, proporcionou um aumento significativo nos valores médios da taxa de não retorno em espessura.

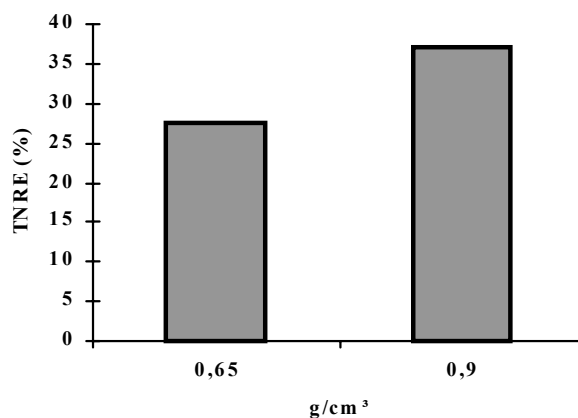
Esta tendência também foi encontrada por autores como KELLY (1977) e MENDES (2001), que mencionaram a existência de uma forte relação entre a densidade e a taxa de não retorno em espessura, explicada pela presença da maior quantidade de partículas (massa lenhosa) em chapas de maior densidade, gerando maior taxa de compressão e maiores tensões de compressão na prensagem, promovendo um maior inchamento residual.

TABELA 14 – INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.

Densidade Nominal (g/cm <sup>3</sup> )	TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (%)	
	MÉDIA	CV (%)
<b>0,65</b>	27,55 <b>A</b>	15,41
<b>0,90</b>	37,04 <b>B</b>	9,04

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 17 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA.



## 4.5. FASE 3 - INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA

### 4.5.1 Propriedades mecânicas

#### Módulos de Elasticidade e Ruptura

Na Tabela 15 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito pressão específica para módulos de elasticidade e ruptura, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 17.

Os resultados obtidos para pressão específica demonstram que o aumento para 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup> (T5 e T6), não afetou de forma estatisticamente significativa os valores de MOE e MOR tanto no sentido paralelo como no perpendicular. Porém quando observadas as médias absolutas os valores indicam uma tendência de aumento dos valores de MOE e MOR no sentido perpendicular.

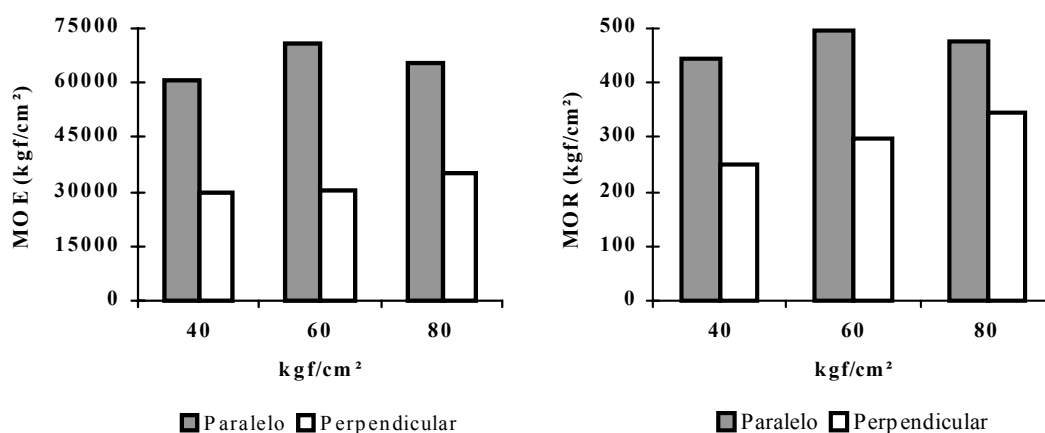
Todos os resultados obtidos em flexão estática são superiores em relação aos especificados para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil, e superam também os valores propostos pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 15 – INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).

Pressão Específica (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	//		⊥	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
40	60699,2 A	6,22	29773,5 A	28,28
60	70686,6 A	17,38	30425,5 A	23,06
80	65513,9 A	14,33	34826,7 A	12,63
	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )			
40	445,1 A	18,62	250,7 A	38,02
60	494,2 A	12,54	295,9 A	31,75
80	475,6 A	15,77	344,0 A	19,34

CV - Coeficiente de variação; // Sentido paralelo, ⊥ Sentido perpendicular. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 18 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA PRESSÃO ESPECÍFICA.



### Ligação interna

Na Tabela 16 estão apresentados os valores médios de ligação interna e seus respectivos coeficientes de variação do efeito pressão específica. Os resultados estão representados graficamente na Figura 18.

O aumento na pressão específica aplicada para níveis de 60 e 80 kgf/cm² (T5 e T6), promoveram um aumento estatisticamente significativo em relação à 40 kgf/cm² de pressão. Esta situação é contraditória ao citado por algumas literaturas. Vários autores como IWAKIRI (1989); MATOS (1988), entre outros, relatam que quanto maior a pressão específica aplicada em chapas de partículas “*wafer*”, menor será o tempo de fechamento da prensa, proporcionando uma maior densificação nas camadas superficiais (maior gradiente vertical de densidade), gerando assim uma substancial redução nos valores de ligação interna. Porém, o gradiente de densidade na chapa é influenciado diretamente por interações de outras variáveis de processamento, como: umidade e geometria de partícula, temperatura e tipo de resina aplicada, entre outros.

Na presente fase o objetivo foi de, apenas, avaliar o efeito da pressão específica e não o gradiente vertical de densidade, apesar de que este estudo não realizou testes específicos para esta propriedade. Os valores de ligação interna apresentados indicam uma tendência de homogeneidade no gradiente de densidade (baixo gradiente vertical

de densidade) nas chapas produzidas, muito provavelmente pela melhor migração da pressão das camadas externas ao centro da chapa proporcionado pelos maiores níveis de pressão (60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup>), aumentando assim os valores de ligação interna.

Esta tendência foi observada por ALBUQUERQUE (2002), que estudando chapas de aglomerado convencional ele cita SUO e BOWYER 1994; WONG et al (1999), onde painéis com gradiente de densidade homogêneo tem suas propriedades como MOE e MOR reduzidas e ligação interna aumentada.

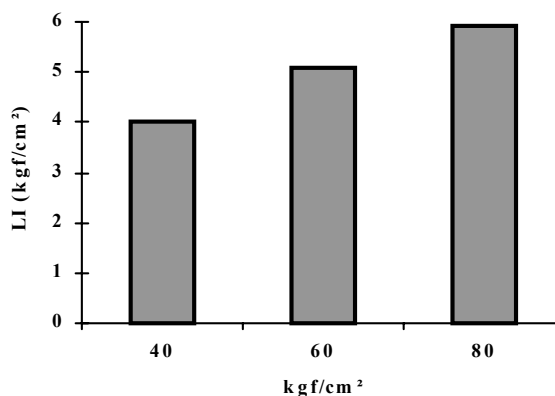
Os resultado obtidos para 40, 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão, para ligação interna, são superiores em relação ao especificado para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil, como também ao valor recomendado pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 16 – INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.

Pressão Específica (kgf/cm <sup>2</sup> )	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	MÉDIA	CV (%)
40	4,03 A	29,73
60	5,10 B	25,46
80	5,94 B	19,93

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 19 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA PRESSÃO ESPECÍFICA





#### 4.5.2 Propriedades físicas

##### Absorção de Água e Inchamento em Espessura

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação, do efeito pressão específica, para absorção de água e inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão. Os resultados estão representados graficamente na Figura 19.

Para absorção de água, após 2 e 24 horas de imersão, os resultados obtidos demonstram que o aumento da pressão específica para 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup> não afetam os valores de forma estatisticamente significativa.

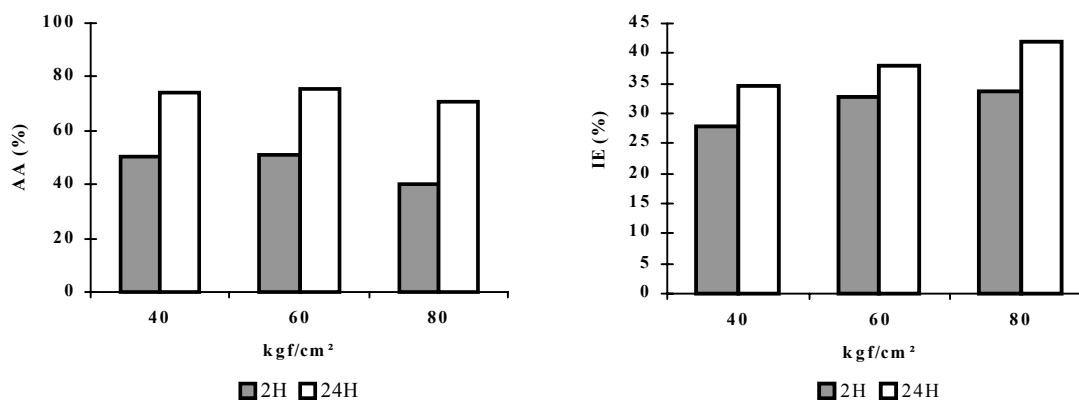
O inchamento em espessura após 2 horas de imersão foi afetado negativamente com o aumento da pressão em ambas as situações de pressão (60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup>). Com 24 horas de imersão, os resultados indicam também, uma influencia estatisticamente negativa entre 40 e 80kgf/cm<sup>2</sup>. Estes resultados vão de encontro aos obtidos por MOSLEMI (1974), KELLY (1977), entre outros, onde maiores pressões específicas aplicadas geram maiores tensões internas de compressão, assim, quando submetida a imersão em água, estas tensões são liberadas comprometendo a performance das chapas no ensaio.

TABELA 17 – INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.

Pressão Específica (kgf/cm <sup>2</sup> )	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
40	50,58 A	25,22	74,17 A	11,95
60	51,07 A	18,72	75,72 A	9,25
80)	40,23 A	21,57	70,78 A	10,66
	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)			
40	27,95 A	13,98	34,65 A	13,03
60	32,84 B	9,46	37,98 AB	9,37
80	33,65 B	10,30	41,83 B	8,68

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 20 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA PRESSÃO ESPECÍFICA.



### Taxa de Não Retorno em Espessura

Na Tabela 18 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito pressão específica para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 20.

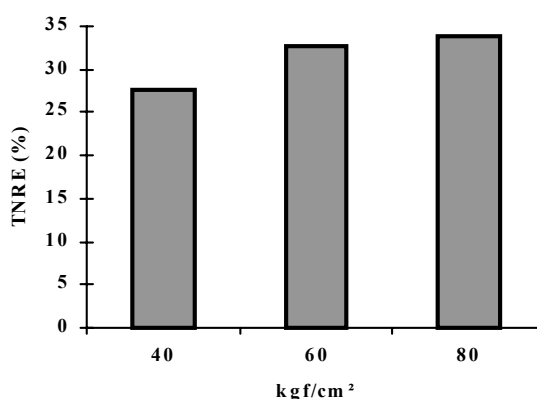
Os resultados obtidos para 60 e 80 kgf/cm² de pressão influenciaram negativamente a propriedade, acarretando um aumento estatisticamente significativo em relação à pressão 40 kgf/cm². Seguindo a mesma tendência observada para a variável inchamento em espessura, os resultados da TNRE foram influenciados pela maior taxa de compressão e maiores tensões de compressão estabelecidas pela prensagem. Como pode-se constatar, o inchamento residual é altamente influenciado pelo inchamento em espessura, sendo que maiores valores destes geram maiores valores de TNRE.

TABELA 18 – INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.

Pressão Específica (kgf/cm <sup>2</sup> )	TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (%)	
	MÉDIA	CV (%)
40	27,55 A	15,41
60	32,73 B	11,52
80	33,89 B	11,14

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 21 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO AÇÃO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA PRESSÃO ESPECÍFICA.



#### 4.6. FASE 4 - INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA

##### 4.6.1 Propriedades mecânicas

##### Módulos de Elasticidade e Ruptura

Na Tabela 19 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito tipo de resina para módulos de elasticidade e ruptura, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 21.

Os valores de MOE e MOR no sentido perpendicular não foram afetados significativamente pelo tipo de resina empregada.

Para o MOE no sentido paralelo os resultados obtidos demonstram que o tipo alternativo PMUF (T7) apresentou valor médio estatisticamente igual em relação a resina FF (T1). Já para o tipo MUF (T6) observa-se uma significativa redução nos valores desta propriedade. Fato este concordante ao citado na literatura, pois o principal uso desta resina é destinado, principalmente, na produção de chapas não estruturais, como na produção de MDF e alguns tipos de aglomerados convencionais.

Para os valores obtidos para MOR no sentido paralelo, os tipos alternativos de resina PMUF e MUF foram estatisticamente inferiores, quando comparados a resina FF, influenciando negativamente esta propriedade. Este resultado está de acordo com os encontrados por MURAKAMI et al. (1999), que encontrou valores superiores para resina fenólica em relação a resina melaminica.

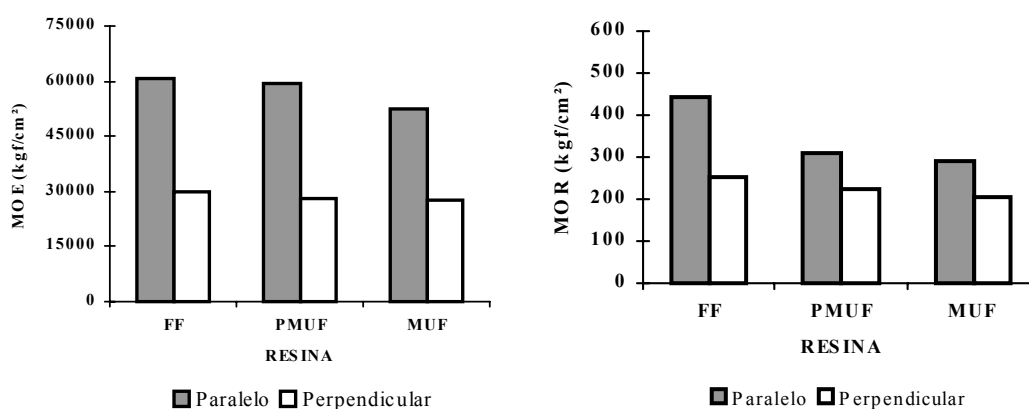
Mesmo com a influencia negativa dos tipos de resina MUF e PMUF, em algumas das características de flexão estática, os resultados obtidos são superiores em relação ao especificado para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil, e superam também os valores propostos pela norma canadense CSA 0437.

TABELA 19 – INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).

Tipo de Resina	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	//		⊥	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
<b>FF</b>	60699,2 <b>B</b>	6,22	29773,5 <b>A</b>	28,28
<b>PMUF</b>	59562,8 <b>AB</b>	9,70	28171,9 <b>A</b>	31,10
<b>MUF</b>	52290,2 <b>A</b>	16,06	27743,3 <b>A</b>	8,66
	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )			
<b>FF</b>	445,1 <b>B</b>	18,62	250,7 <b>A</b>	38,02
<b>PMUF</b>	310,6 <b>A</b>	10,91	222,6 <b>A</b>	41,75
<b>MUF</b>	291,4 <b>A</b>	17,26	203,4 <b>A</b>	16,24

CV - Coeficiente de variação; // Sentido paralelo, ⊥ Sentido perpendicular. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 22 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA TIPO DE RESINA.



### Ligação Interna

Na Tabela 20 estão apresentados os valores médios de ligação interna e seus respectivos coeficientes de variação do efeito tipo de resina. Os resultados estão representados graficamente na Figura 22.

Para a propriedade ligação interna, os resultados obtidos para os tipos alternativos de resina PMUF e MUF comportaram-se de forma igual, mas foram estatisticamente inferiores quando comparados ao tipo FF, influenciando negativamente esta propriedade.

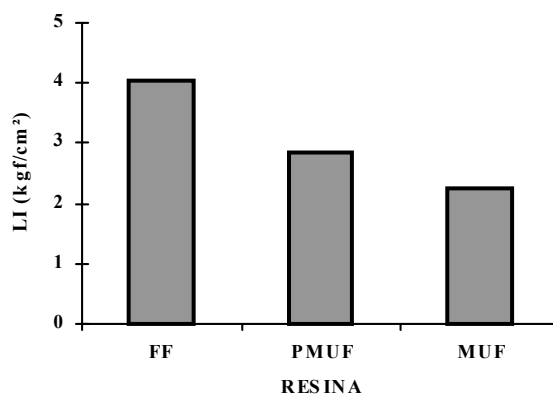
Os valores obtidos com as resinas do tipo PMUF e MUF são inferiores em relação ao valor mínimo, tanto das chapas comercializadas no Brasil como aos da norma CSA 0437.

TABELA 20 – INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.

Tipo de Resina	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm²)	
	MÉDIA	CV (%)
FF	4,03 B	29,73
PMUF	2,86 A	31,41
MUF	2,25 A	35,65

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 23 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA TIPO DE RESINA.



#### 4.6.2 Propriedades físicas

##### Absorção de Água e Inchamento em Espessura

Na Tabela 21 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito tipo de resina para absorção de água e inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão. Os resultados estão representados graficamente na Figura 23.

Quando analisados os resultados para absorção de água após 24 horas de imersão o tipo de resina PMUF foi estatisticamente igual ao tipo FF, e o tipo MUF diferiu dos tipos citados anteriormente, aumentando substancialmente a quantidade percentual de água absorvida.

Na propriedade inchamento em espessura, após 24 horas de imersão, o comportamento foi similar ao apresentado pela absorção de água. Chapas com o tipo PMUF tiveram resultado estatisticamente igual ao do tipo FF, já as do tipo MUF diferiu significativamente dos dois tipos anteriormente mencionados, obtendo maior média absoluta. Esta situação pode ser explicada pelo fato de que a resina do tipo MUF possui parte composta por uréia-formaldeído, a qual possui baixa resistência

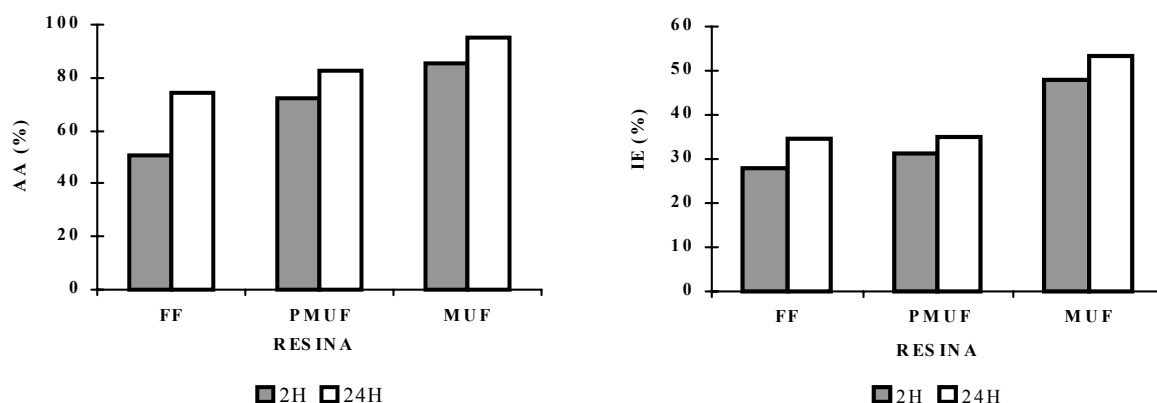
devido a sua alta reatividade na presença de água, influenciando significativamente o inchamento em espessura, porém o tipo PMUF também possui parte em uréia – formaldeído, que portou-se de forma similar a o tipo FF. Assim esta reatividade em presença de água, muito provavelmente esta ligada a proporção de uréia-formaldeído utilizada na formulação, indicando níveis superiores no tipo MUF.

TABELA 21 – INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.

Tipo de Resina	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
FF	50,58 A	25,22	74,17 A	11,95
PMUF	72,35 B	11,05	82,39 A	5,32
MUF	85,21 C	7,09	95,11 B	6,15
INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)				
FF	27,95 A	13,98	34,65 A	13,03
PMUF	31,30 A	16,85	35,17 A	19,98
MUF	48,10 B	16,48	53,39 B	16,50

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 24 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA TIPO DE RESINA.



### Taxa de Não Retorno em Espessura

Na Tabela 22 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito tipo de resina para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 24.

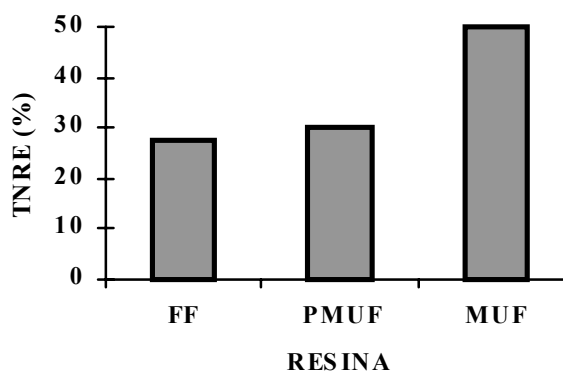
Quando analisados os resultados para taxa de não retorno em espessura, estes apresentaram a mesma tendência observada na absorção de água e inchamento em espessura. Chapas com o tipo PMUF tiveram seu resultado estatisticamente igual ao do tipo FF, e o tipo MUF diferiu significativamente dos dois tipos anteriormente mencionados, aumentando o inchamento residual percentual devido à sua alta reatividade em presença da água.

TABELA 22 – INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.

Tipo de Resina	TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (%)	
	MÉDIA	CV (%)
FF	27,55 A	15,41
PMUF	30,24 A	25,04
MUF	50,08 B	17,05

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 25 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA TIPO DE RESINA.





## 4.7. FASE 5 - INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL

### 4.7.1 Propriedades mecânicas.

#### Módulos de Elasticidade e Ruptura

Na Tabela 23 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação do efeito reforço laminar superficial para módulos de elasticidade e ruptura, nos sentidos paralelo e perpendicular, em relação à orientação das partículas do plano da chapa. Os resultados estão representados graficamente na Figura 25.

Os valores de MOE e MOR no sentido paralelo não foram afetados significativamente pelo reforço laminar superficial.

Os resultados obtidos para MOE no sentido perpendicular indicaram um aumento significativo nos valores quando utilizada a (T9), em relação às chapas convencionais com resina FF (T1). Esta tendência foi também observada para MOR no sentido perpendicular. A possível causa deste comportamento é devido ao plano contínuo de linha de cola formado entre lâmina e miolo particulado, aumentando significativamente a resistência.

Assim, o reforço laminar superficial age de forma positiva no sentido perpendicular das chapas, fato também relatado por BIBLIS, GRIGORIOU e CARINO (1996), que estudaram o reforço laminar superficial em chapas OSB comerciais em duas espessuras,  $\cong$  12 e 18 mm, revestindo-as com laminas de *Pinus spp.* Os resultados demonstraram que as chapas revestidas promovem um aumento significativo nos valores de resistência para propriedades como MOE e MOR no sentido perpendicular, quando comparadas às chapas de OSB convencional.

Outro fato relevante a ser citado é de que ocorre uma nítida tendência de homogeneidade nos valores de resistência em flexão estática, entre os sentidos paralelo e perpendicular com o reforço laminar superficial. Este fato pode ser atribuído, como

citado anteriormente, ao plano contínuo de linha de cola formado entre lâmina e miolo particulado. Esta tendência é relatada também por BIBLIS, GRIGORIOU e CARINO (1996), que no seu trabalho a reforço laminar superficial seguiu duas formas: Tipo A com miolo em OSB e lâminas com as fibras dispostas paralelamente à orientação das partículas do miolo, e Tipo B com miolo em OSB e lâminas dispostas perpendicularmente à orientação do miolo. Os resultados obtidos para o tipo B são concordantes com a tendência de homogeneidade na resistência em ambos os sentidos, em relação aos valores do tipo A.

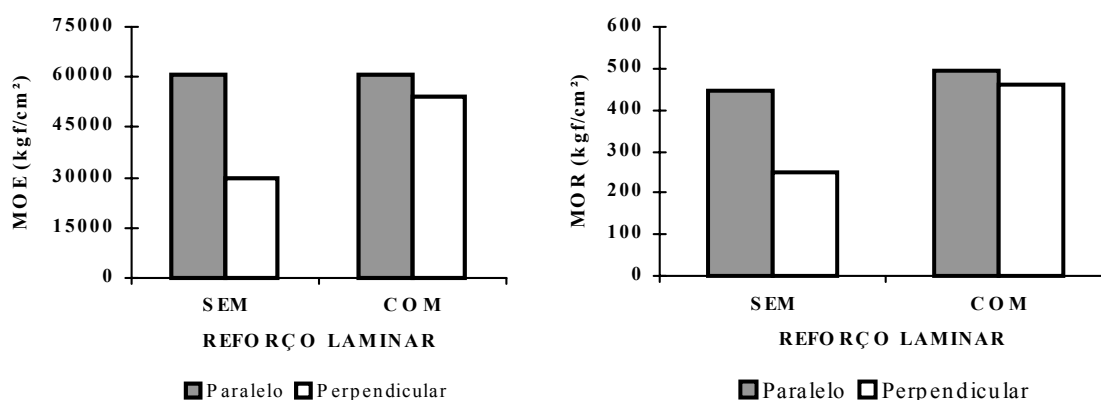
Os valores obtidos em flexão estática com o reforço laminar superficial são superiores em relação ao valor mínimo, tanto das chapas comercializadas no Brasil como aos da norma CSA 0437.

TABELA 23 – INFLUÊNCIA DA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE MOE E MOR (PARALELO E PERPENDICULAR).

Inclusão Laminar	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	//		⊥	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
SEM	60699,2 A	6,22	29773,5 A	28,28
COM	60545,1 A	15,74	54089,7 B	15,18
MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )				
SEM	445,1 A	18,62	250,7 A	38,02
COM	496,2 A	19,73	460,2 B	18,46

CV - Coeficiente de variação; // Sentido paralelo, ⊥ Sentido perpendicular. Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 26 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DO MOE E MOR PARA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL.



### Ligação Interna

Na Tabela 24 estão apresentados os valores médios de ligação interna e seus respectivos coeficientes de variação do efeito inclusão laminar. Os resultados estão representados graficamente na Figura 26.

Para ligação interna o reforço laminar superficial não afetou de forma estatisticamente significativa os valores, fato já esperado, pois a maior influencia nesta propriedade é sobre a região da linha de ruptura que encontra-se no miolo da chapa.

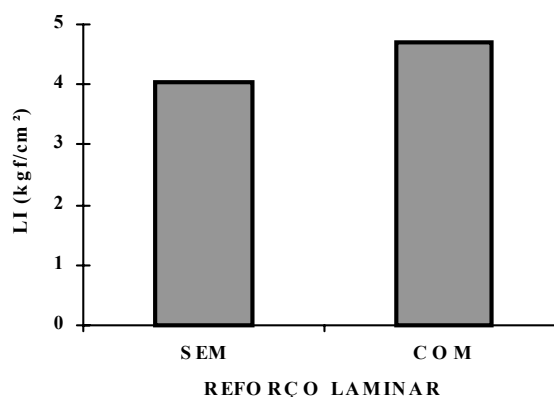
Para chapas com inclusão laminar, o valor para ligação interna é superior em relação ao especificado para chapas de mesma espessura comercializadas no Brasil e pela norma CSA 0437.

TABELA 24 – INFLUÊNCIA DA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA.

Inclusão Laminar	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	MÉDIA	CV (%)
SEM	4,03 A	29,73
COM	4,69 A	22,78

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 27- HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA LIGAÇÃO INTERNA PARA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL.



#### 4.7.2 Propriedades físicas

##### Absorção de Água e Inchamento em Espessura

Na Tabela 25 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação quando analisado o efeito reforço laminar superficial para absorção de água e inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água. Os resultados estão representados graficamente na Figura 27.

Para absorção de água após 24 horas de ensaio o reforço laminar superficial não afetou de forma estatisticamente significativa os resultados. Para o inchamento em espessura após 24 horas de imersão o comportamento seguiu a mesma tendência. Porém, quando analisadas suas médias absolutas, o reforço laminar superficial indica uma tendência de redução nos valores de ambas as propriedades, devido principalmente à substancial redução da densificação nas camadas superficiais da chapa e da redução na espessura das camadas de partículas com a inclusão laminar, melhorando assim, a estabilidade dimensional das chapas.

Esta tendência em melhora na estabilidade dimensional com o reforço laminar superficial é relatada por vários autores como BIBLIS, GRIGORIOU e CARINO

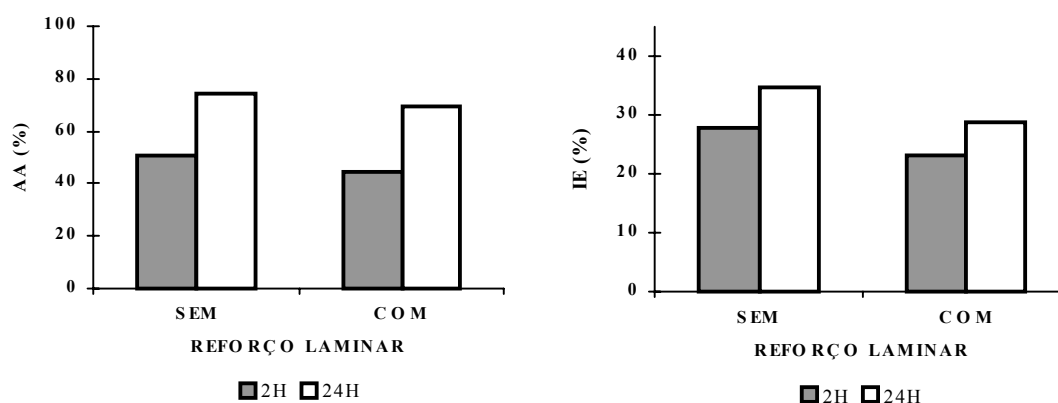
(1996), os seus resultados em inchamento em espessura após 24 h de imersão para chapas com inclusão foram de 15,2% no tipo A e 11,25 % no tipo B. Já os resultados para as chapas convencionais de mesma espessura foram de 26,3% e 24,3%, respectivamente. Também foi relatada por IWAKIRI et al (1999), estudando chapas de aglomerado, no qual os resultados para as propriedades de absorção e inchamento foram substancialmente reduzidos. KEINERT (1990), estudando chapa de composição estrutural, reforça a contribuição positiva do reforço laminar superficial na estabilidade dimensional em chapas de partículas.

TABELA 25 – INFLUÊNCIA DA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS APÓS IMERSÃO EM ÁGUA.

Inclusão Laminar	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
	2 HORAS		24 HORAS	
	MÉDIA	CV (%)	MÉDIA	CV (%)
SEM	50,58 A	25,22	74,17 A	11,95
COM	44,44 A	13,29	69,24 A	4,16
	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)			
SEM	27,95 A	13,98	34,65 A	13,03
COM	23,28 A	12,97	28,73 A	12,02

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 28 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA PARA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL.



## Taxa de Não Retorno em Espessura

Na Tabela 26 estão apresentados os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação quando analisado o efeito reforço laminar superficial para taxa de não retorno em espessura. Os resultados estão representados graficamente na Figura 28.

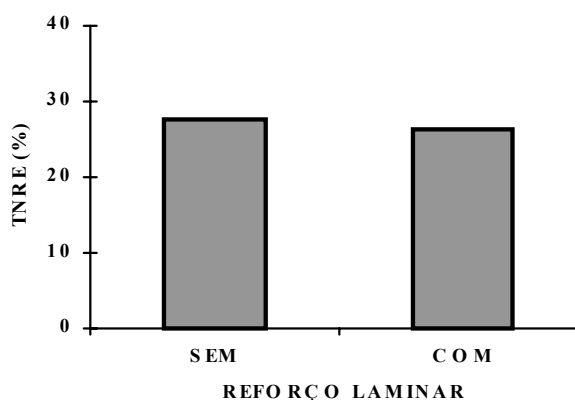
Para os valores de taxa de não retorno em espessura, o reforço laminar superficial não afetou significativamente. Contudo, seguiu a mesma tendência apresentada para absorção de água e inchamento em espessura, indicando também a redução no inchamento residual, considerando as médias absolutas.

TABELA 26 – INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES MÉDIOS DE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.

Inclusão laminar	TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (%)	
	MÉDIA	CV (%)
<b>SEM</b>	27,55 A	15,41
<b>COM</b>	26,19 A	48,45

CV - Coeficiente de variação; Obs: Valores das colunas seguidos por mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

FIGURA 29 - HISTOGRAMA REPRESENTATIVO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA PARA REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL.



## **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **FASE 1 - INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS PARTÍCULAS**

A utilização de uma maior razão de esbeltez, com uso de partículas de 0,4 mm de espessura, não influenciou significativamente as propriedades de MOE e MOR em ambos os sentidos de flexionamento. O aumento na espessura das partículas para 1,0 mm resultou em chapas com maior ligação interna. As variações nas espessuras para 0,4 e 1,0 mm não contribuíram para melhorar as propriedades de estabilidade dimensional das chapas (Absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura).

### **FASE 2 - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NOMINAL DA CHAPA**

As chapas com densidade de 0,90 g/cm<sup>3</sup> apresentaram valores significativamente superiores de MOE e MOR no sentido paralelo e da ligação interna. O aumento na densidade de 0,65 para 0,90 g/cm<sup>3</sup> ocasionou a redução da absorção de água mas, em relação ao inchamento em espessura, ocasionou um aumento significativo dos valores, influenciando também a taxa de não retorno em espessura, que foi maior em chapas de densidade 0,90 g/cm<sup>3</sup>. O aumento da densidade nas chapas comprovou a relação direta entre densidade e resistência, aumentando significativamente as propriedades mecânicas, contribuindo como uma alternativa para produção de chapas de usos especiais onde necessitem elevados valores de resistência.

### **FASE 3 - INFLUÊNCIA DA PRESSÃO ESPECÍFICA**

A utilização de maiores pressões específicas, de 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup>, não influenciaram significativamente as propriedades de MOE e MOR em ambos os sentidos de flexionamento. O aumento da pressão específica resultou em chapas com maior ligação interna. Ambas variações na pressão acarretaram aumentos significativos no inchamento em espessura e, também, na taxa de não retorno em espessura. O aumento no valor da pressão específica não contribuiu de forma expressiva nas propriedades físico-mecânicas e na estabilidade dimensional das chapas.

### **FASE 4 - INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA**

A utilização dos tipos alternativos de resina PMUF e MUF não contribuíram para melhorar as propriedades de MOE e MOR em ambos os sentidos de flexionamento e na ligação interna. Com relação à estabilidade dimensional, as chapas produzidas com resina PMUF apresentaram comportamento similar à chapas com resina FF, não ocorrendo o mesmo para resina MUF.

### **FASE 5 - INFLUÊNCIA DO REFORÇO LAMINAR SUPERFICIAL**

A reforço laminar superficial não contribuiu para melhorar as propriedades de MOE e MOR no sentido paralelo. No entanto, no sentido perpendicular houve um aumento significativo destas propriedades com a inclusão laminar. Resultando também em um melhor balanço estrutural entre os sentidos paralelo e perpendicular. Para ligação interna, a reforço laminar superficial não afetou significativamente os resultados. A absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura não foram afetados significativamente com a inclusão laminar, mas suas médias absolutas indicaram tendências de redução nos valores destas propriedades.



Analisando os valores de resistência em flexão estática, obtidos em todas as fases desta pesquisa, em apenas um caso os valores foram inferiores aos mínimos estabelecidos pela norma CSA 0437. Quando comparados aos valores das chapas produzidas comercialmente no Brasil, todos os resultados desta pesquisa foram superiores aos valores mínimos recomendados.

Com base nas conclusões obtidas, as seguintes recomendações podem ser apresentadas:

Estudos específicos, envolvendo fatores como o uso de diferentes espessuras de partículas numa mesma chapa e variações de proporções na composição das camadas devem ser realizados para melhor relatar a influencia da geometria das partículas em chapas OSB.

No caso de diferentes tipos de resina, as interações como diferentes tipos e quantidades na composição da chapa com a utilização da parafina devem ser investigadas, procurando focar principalmente as propriedades correlatas à estabilidade dimensional da chapa.

Ainda remenda-se estudar, para chapas com inclusão laminar, as interações de diferentes espécies e espessuras de lâminas, com diferentes tipos e composições de miolos particulados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, C.E.C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados** Curitiba, 2002. 150p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials**. In: Annual Book of ASTM standards, ASTM D-1037-78B. Philadelphia. 1980.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS DO MOBILIARIO ABIMOVEL Disponível: <<http://www.Abimovel.org.br/panorama>> Capturado em: dez 2003.
4. BIBLIS, E.J.; MANGALOUSIS, F. Properties of ½-inch Composite Plywood With Southern Yellow Pine Veneer Faces and Unidirectionally Oriented Southern Oaks Strand Core. **Forest Products Journal**, Madison, v.33, n.2, p.43-49. 1983.
5. BIBLIS, E.J. Composite Plywood With Southern Pine Veneer Faces and Oriented Strand Core from Sweetgum and Southern Pine. **Wood and Fiber Science**. Auburn. 17 (1). P. 47-57. 1985.
6. BIBLIS, E.J; GRIGORIOU, A; CARINO, H. Flexural Properties of Veneer-overlaid OSB Composite Panels from Southern Yellow Pine. **Forest Products Journal**, Madison, v.46, n.4, p.59-62. 1996.
7. BORDEN QUIMICA S/A Cascomel M-08-ME e Cascofen OS-22 **Boletins técnicos** 2003.
8. BRITO, E.O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais “waferboards”**. Curitiba, 1984. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
9. BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. Curitiba, 1995. 123p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
10. CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION OSB and Waferboard. CSA 0437.0-93 Ontario 1993 18p.

11. CANADIDO, L.S.; SAITO, F.; SUZUKI S. Influence os strand thickness and board density on the orthotropic propriets of oriented strandboard. **Journal on the Japan Wood**, Tokyo, v. 36, n. 8, p. 632-636, 1990.
12. CLOUTIER, A. Oriented stranboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: 1<sup>st</sup> International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. **Anais** Belo Horizonte- MG, p. 173-185, 1998.
13. DYNEA BRASIL S/A Dynomel HMP 296 **Boletim técnico** 2003.
14. EINSFELD, R. A.; MURRAY, D. W.; CHENG, J. J. R.; BACH, L. Manufatura e características das chapas OSB (Oriented Strand Board). In: -. VI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais**, v.3, Florianópolis, p.385-394, 1998.
15. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO **FAO Statistical Database** dispoível em <<http://www.fao.org>> Capturado em dez 2002.
16. GEIMER, R.L. Flake alignment in particleboard as affected by machine variables and particle geometry. USDA-Florest Service, Research Paper FPL 275 Madison.1976.
17. IWAKIRI, S **A influencia de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. Curitiba, 1989. 129p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
18. IWAKIRI, S. et al Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm com inclusão laminar. **Cerne**. Lavras, v.5, n.2, p. 86-94. 1999.
19. IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF/Série didática n°1/03, 2 ° edição 2003. 120p.
20. IWAKIRI, S; MENDES, L.M; SALDANHA, L.K. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resinas, parafina e composição de camadas. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria Rs V.12, n.2 ,p:135-145.2003.
21. JANSSENS, D.P. The increasing recognition of oriented strandboard (OSB) as preferred structural panel. In: 1<sup>st</sup> International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. **Anais** Belo Horizonte - MG, p. 169-172, 1998.
22. KEINERT, JR S. Chapas de composição estruturais com reforço laminar. **Revista Floresta**. Curitiba Pr V.15, n.1,p: 87-95.1990.

23. KELLY, M.W. **A Critical Literature Review of Relationships between Processing Parameters and Physical Properties of Particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10, 1977, 66p.
24. KOLLMANN, F.F.P; KUENZI, E. W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology II - Wood based materials**. Springer - verlag Berlin heidelberg, New York, 1975, 703p.
25. KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H.E. Moore**. Curitiba, 2000, 291 p. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
26. MALONEY, T.M. **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Publication, 1977, 672p.
27. MALONEY, T. M. **Modern particleboard & Dry-process fiberboard manufacturing**. São Francisco: Miller Freeman Inc., 1993. 2ed. 689p.
28. MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v.46, n.2, p.19-26, fev. 1996.
29. MARRA, A.A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 453p. 1992.
30. MASISA do Brasil. **Manual OSB e Características Físico-mecânicas** Disponível: <<http://www.masisa.com.br/>> Capturado dez.2003.
31. MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais "waferboard"**. Curitiba, 1988, 163 p. dissertação, (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
32. MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997, 117 p. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
33. MENDES, L.M. ***Pinus spp* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. Curitiba, 2001, 156 p. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
34. MENDES, L.M, IWAKIRI, S; SALDANHA, L.K. *Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria Rs V.12, n.2,p: 135-145.2002.
35. MOSLEMI, A.A. **Particleboard vol. I - Materials**. Southern Illinois University Press, London - Amsterdam, 1974 a, 244p.
36. MOSLEMI, A.A. **Particleboard vol. II - Technology**. Southern Illinois University Press, London - Amsterdam, 1974 b, 245p.

37. MUÑIZ, G.I.B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993, 253 p. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
38. MURAKAMI, K. et al. Manufacture and properties of tree-layered particleboards with oriented face strands or veneers I. **Japan Wood Science**. Tokyo, v. 45, n.5, p. 395-402, 1999
39. NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ: **Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength**. DIN 52362.1982 p. 39-40.
40. PIO, N.S. **Produção de painéis estruturais de laminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** Curitiba, 2002, 167 p. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
41. SBA Structural Board Association Disponível: <<http://www.osbguide.com>> Capturado em dez 2003.
42. SOBRAL FILHO, M **The influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels**, Idaho 1979 93 p. (Dissertation of Doctor Philosophy-major in Florestry) University of Idaho Graduate School
43. WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**. Madison, v.31, n.1, p. 28-40. 1999.
44. ZHANG, M. et al. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Japan, n.44, p.191-197, 1998.
45. ZHOW, D. A estudy of oriented structural board made from hybrid poplar. Effects of some factors of mechanical forming installation for orientation effectiveness. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlim, v.47, n.10, p. 405-407 .

## **ANEXO 1- QUANTIFICAÇÃO DO MATERIAL**

## ANEXO – QUANTIFICAÇÃO DO MATERIAL

### Peso da chapa.

**Densidades nominais 0,65 e 0,90g/cm<sup>3</sup>, sem inclusão laminar, dimensões 480x480x15mm.**

$$D = M_{12} / V$$

$$M_{12} = D \times V$$

$$M_{12} = 0,65 \text{ g/cm}^3 \times 3456 \text{ cm}^3 \rightarrow M = 2246,4 \text{ g}$$

$$M_{12} = 0,90 \text{ g/cm}^3 \times 3456 \text{ cm}^3 \rightarrow M = 3110,4 \text{ g}$$

Sendo:

D = densidade da chapa (g/cm<sup>3</sup>);

M<sub>12</sub> = massa da chapa estabilizado a 12% de umidade (g);

V = Volume da chapa.

**Densidades nominais 0,65 g/cm<sup>3</sup>, com inclusão laminar, dimensões 480x480x11,8 mm. (+ 2 laminas com 1,6mm = 15 mm)**

$$D = M_{12} / V$$

$$M_{12} = D \times V$$

$$M_{12} = 0,65 \text{ g/cm}^3 \times 2718,72 \text{ cm}^3 \rightarrow M = 1767,16 \text{ g}$$

Sendo:

D = densidade da chapa (g/cm<sup>3</sup>);

M<sub>12</sub> = massa da chapa estabilizado a 12% de umidade (g);

V = Volume da chapa

## Constituição das chapas

### Cálculo das proporções tratamentos com 0,65 g/cm<sup>3</sup>, sem inclusão laminar

Peso de partículas a 0% de umidade	100%	X
Peso de sólido resinoso	6%	Y
Peso de água	12%	Z
Total (Partes em peso = M <sub>12</sub> )	118	2246,4 g
100	X	1903,72g
6	Y	114,22g
12	Z	228,44g

### Cálculo das proporções tratamentos com 0,90 g/cm<sup>3</sup>, sem inclusão laminar

Peso de partículas a 0% de umidade	100%	X
Peso de sólido resinoso	6%	Y
Peso de água	12%	Z
Total (Partes em peso = M <sub>12</sub> )	118	3110,4 g
100	X	2635,83g
6	Y	158,15g
12	Z	316,31g

### Cálculo das proporções tratamentos com 0,65 g/cm<sup>3</sup>, com inclusão laminar

Peso de partículas a 0% de umidade	100%	X
Peso de sólido resinoso	6%	Y
Peso de água	12%	Z
Total (Partes em peso = M <sub>12</sub> )	118	1767,16 g
100	X	1497,59 g
6	Y	89,85g
12	Z	179,71g



### Quantidade de partículas úmidas por chapa

#### Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão laminar

$$M_3 = (\text{unidade de partícula desejada}/100+1) \times M_0$$

$$M_3 = (3/100+1) \times M_0 = 1,03 \times 1903,72 \text{ g}$$

$$M_3 = 1960,83 \text{ g.}$$

#### Tratamentos com densidade 0,90g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão laminar

$$M_3 = (\text{unidade de partícula desejada}/100+1) \times M_0$$

$$M_3 = (3/100+1) \times M_0 = 1,03 \times 2635,83 \text{ g}$$

$$M_3 = 2715,00 \text{ g.}$$

#### Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , com inclusão laminar

$$M_3 = (\text{unidade de partícula desejada}/100+1) \times M_0$$

$$M_3 = (3/100+1) \times M_0 = 1,03 \times 1497,59 \text{ g}$$

$$M_3 = 1542,51 \text{ g.}$$

### Quantidade de resina por chapa

Sendo:

Rs = resina na forma sólida.

Rl = resina na forma líquida.

Ts = teor de sólidos da resina.

#### Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão laminar, resina fenól-formoldeído (FF)

$$Rs = 114,22 \text{ g; } Ts \text{ (FF)} = 45 \%$$

$$Rl = Rs \times 100 / Ts$$

$$Rl = 114,22 \times 100 / 45$$

$$Rl = 253,82 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,90 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão laminar, resina fenól-formoldeído (FF)**

$$R_s = 158,15 \text{ g}; T_s (\text{FF}) = 45 \%$$

$$R_l = R_s \times 100 / T_s$$

$$R_l = 158,15 \times 100 / 45$$

$$R_l = 351,44 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão laminar, resina melamina-ureiaformoldeído (MUF)**

$$R_s = 114,22 \text{ g}; T_s (\text{MUF}) = 66,15 \%$$

$$R_l = R_s \times 100 / T_s$$

$$R_l = 114,22 \times 100 / 66,15$$

$$R_l = 172,66 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão laminar, resina fenol-melamina-ureiaformoldeído (PMUF)**

$$R_s = 114,22 \text{ g}; T_s (\text{PMUF}) = 60,7 \%$$

$$R_l = R_s \times 100 / T_s$$

$$R_l = 114,22 \times 100 / 60,7$$

$$R_l = 188,17 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , com inclusão laminar, resina fenól-formoldeído (FF)**

$$R_s = 89,85 \text{ g}; T_s (\text{FF}) = 45 \%$$

$$R_l = R_s \times 100 / T_s$$

$$R_l = 89,85 \times 100 / 45$$

$$R_l = 199,66 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , com inclusão laminar, resina melamina-ureiaformoldeído (MUF)**

$$R_s = 89,85 \text{ g}; T_s (\text{MUF}) = 66,15 \%$$

$$R_l = R_s \times 100 / T_s$$

$$R_l = 89,85 \times 100 / 66,15$$

$$R_l = 135,82 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , com inclusão lâminar, resina fenol-melamina-ureiaformoldeído (PMUF)**

$$R_s = 89,85 \text{ g}; T_s (\text{PMUF}) = 60,7 \%$$

$$R_l = R_s \times 100 / T_s$$

$$R_l = 89,85 \times 100 / 60,7$$

$$R_l = 148,02 \text{ g}$$

**Proporções de camada por chapa**

Proporção de camadas utilizada 25:50:25

Sendo :

C ext = Camada externa.

C int = Camada interna.

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão lâminar, resina fenól-formoldeído (FF)**

$$C_{\text{ext}} = (M_3 + R_l) \times 25 / 100$$

$$C_{\text{ext}} = (1960,83 + 253,82) \times 25 / 100$$

$$C_{\text{ext}} = 553,66 \text{ g por camada externa.}$$

$$C_{\text{int}} = (M_3 + R_l) \times 50 / 100$$

$$C_{\text{int}} = (1960,83 + 253,82) \times 50 / 100$$

$$C_{\text{int}} = 1107,32 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,90 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão lâminar, resina fenól-formoldeído (FF)**

$$C_{\text{ext}} = (M_3 + R_l) \times 25 / 100$$

$$C_{\text{ext}} = (2715 + 351,44) \times 25 / 100$$

$$C_{\text{ext}} = 766,61 \text{ g por camada externa.}$$

$$C_{\text{int}} = (M_3 + R_l) \times 50 / 100$$

$$C_{\text{int}} = (2715 + 351,44) \times 50 / 100$$

$$C_{\text{int}} = 1533,22 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão lâminar, resina melamina-ureiaformoldeído (MUF)**

$$C \text{ ext} = (M_3 + RI) \times 25 / 100$$

$$C \text{ ext} = (1960,83 + 172,66) \times 25 / 100$$

$$C \text{ ext} = 533,37 \text{ g por camada externa.}$$

$$C \text{ int} = (M_3 + RI) \times 50 / 100$$

$$C \text{ int} = (1960,83 + 172,66) \times 50 / 100$$

$$C \text{ int} = 1066,74 \text{ g}$$

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão lâminar, resina fenol-melamina-ureiaformoldeído (PMUF)**

$$C \text{ ext} = (M_3 + RI) \times 25 / 100$$

$$C \text{ ext} = (1960,83 + 188,17) \times 25 / 100$$

$$C \text{ ext} = 537,25 \text{ g por camada externa.}$$

$$C \text{ int} = (M_3 + RI) \times 50 / 100$$

$$C \text{ int} = (1960,83 + 188,17) \times 50 / 100$$

$$C \text{ int} = 1074,50 \text{ g}$$

**Quantidade de catalisador para resina MUF**

**Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup> , sem inclusão lâminar, resina (MUF)**

Sendo:

Cs = catalisador na forma sólida.

Cl = catalisador na forma líquida.

Tsc = teor de sólidos do catalisador (25%)

Recomendação para formulação 2% de catalisador

$$C_s = 2/100 \times R_s = 2/100 \times 114,22$$

$$C_s = 2,28 \text{ g}$$

$$C_l = 100/25 \times C_s$$

$$C_l = 100/25 \times 2,28$$

$$C_l = 9,12 \text{ g}$$

#### **Tratamentos com densidade 0,65 g/cm<sup>3</sup>, com inclusão laminar, resina (MUF)**

$$C_s = 2/100 \times R_s = 2/100 \times 89,85\text{g}$$

$$C_s = 1,80 \text{ g}$$

$$C_l = 100/25 \times C_s$$

$$C_l = 100/25 \times 1,80$$

$$C_l = 7,2 \text{ g}$$

#### **Quantidade de resina para lâminas**

Recomendação 380g/m<sup>2</sup> linha dupla de cola ou 190g/m<sup>2</sup> linha simples

Dimensões das laminas 480x480 mm área = 0,2304 m<sup>2</sup>

Linha simples = ( gramatura x área em m<sup>2</sup>)

Linha simples = ( 190 x 0,2304)

Linha simples = 43,77 g

Batelada 500g de cola

Formulação da cola: 100 partes de resina líquida para 10 partes de extensor (ALBEX)

Batelada = 455 g de resina líquida e 45 g de extensor

**ANEXO 2- ANOVAS DOS TRATAMENTOS**

ANEXO 2.1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARALELO.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DOS QUADRADOS	G.L	QUADRDO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
TRATAMENTOS	4,45717E9	10	4,45717E8	5,75*	0,0000
ERRO	5,96928E9	77	7,75231E7		
TOTAL	1,04265E10	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO MÓDULO DE ELASTICIDADE PERPENDICULAR.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DOS QUADRADOS	G.L	QUADRDO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
TRATAMENTOS	9,53095E9	10	9,53095E8	22,26*	0,0000
ERRO	5,96928E9	77	7,75231E7		
TOTAL	1,28277E10	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO MÓDULO DE RUPTURA PARALELO.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DOS QUADRADOS	G.L	QUADRDO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
TRATAMENTOS	846230,0	10	84623,0	19,87*	0,0000
ERRO	328010,0	77	4259,86		
TOTAL	1,17424E6	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.4 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO MÓDULO DE RUPTURA PERPENDICULAR.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DOS QUADRADOS	G.L	QUADRDO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
TRATAMENTOS	433055,0	10	43305,5	8,84*	0,0000
ERRO	377179,0	77	4898,43		
TOTAL	810234,0	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.5 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO ABSORÇÃO DE ÁGUA 2 HORAS.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DOS QUADRADOS	G.L	QUADRDO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
TRATAMENTOS	25212,9	10	2521,29	35,33*	0,0000
ERRO	5494,51	77	71,3573		
TOTAL	30707,4	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.6 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO ABSORÇÃO DE ÁGUA 24 HORAS.

<b>FONTE DE VARIÇÃO</b>	<b>SOMA DOS QUADRADOS</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRDO MÉDIO</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDADE</b>
TRATAMENTOS	8826,5	10	882,65	18,68*	0,0000
ERRO	3639,2	77	47,2623		
TOTAL	12465,7	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.7 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 HORAS.

<b>FONTE DE VARIÇÃO</b>	<b>SOMA DOS QUADRADOS</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRDO MÉDIO</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDADE</b>
TRATAMENTOS	3289,53	10	328,953	15,25*	0,0000
ERRO	1661,43	77	21,5771		
TOTAL	4950,96	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.8 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO INCHAMENTO EM ESPESSURA 24 HORAS.

<b>FONTE DE VARIÇÃO</b>	<b>SOMA DOS QUADRADOS</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRDO MÉDIO</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDADE</b>
TRATAMENTOS	3737,24	10	373,724	12,32*	0,0000
ERRO	2335,64	77	30,333		
TOTAL	6072,88	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.9 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA.

<b>FONTE DE VARIÇÃO</b>	<b>SOMA DOS QUADRADOS</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRDO MÉDIO</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDADE</b>
TRATAMENTOS	4446,94	10	444,694	10,00*	0,0000
ERRO	3423,77	77	44,4646		
TOTAL	7870,72	87			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;

ANEXO 2.10 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL TRATAMENTOS DO EFEITO LIGAÇÃO INTERNA.

<b>FONTE DE VARIÇÃO</b>	<b>SOMA DOS QUADRADOS</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRDO MÉDIO</b>	<b>F</b>	<b>PROBABILIDADE</b>
TRATAMENTOS	502,833	10	50,2833	39,65*	0,0000
ERRO	263,751	208	1,26803		
TOTAL	766,584	218			

\* Significativo ao nível de 95% de probabilidade;