

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**EFEITO DA ESPESSURA E DO VÃO SOBRE
DEFORMAÇÃO EM FLEXÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA
UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE MÓVEIS**

VALÉRIA MARIA DE FIGUEIREDO PAZETTO

ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

BRASÍLIA/DF: JANEIRO 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

PAZETTO, VALÉRIA M. F.

Efeito da Espessura e do Vão sobre Deformação em Flexão de Painéis de Madeira Utilizados na Produção de Móveis [Distrito Federal] 2009.

v, 77p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

I. EFL/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PAZETTO, V.M.F (2009). Efeito da Espessura e do Vão sobre Deformação em Flexão de Painéis de Madeira Utilizados Na Produção de Móveis. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais,

Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 70p. Nº 110.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Valéria Maria de Figueiredo Pazetto.

TÍTULO: Efeito da Espessura e do Vão sobre Deformação em Flexão de Painéis de Madeira Utilizados na Produção de Móveis.

GRAU: Mestre ANO: 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Valéria Maria de Figueiredo Pazetto

Endereço: Campus Universitário Darcy Ribeiro – Ed. SG-9 – Sala AT-50/17 – Asa Norte – Brasília – DF

valeriapazetto@unb.br.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus por me dar saúde e coragem para alcançar este objetivo.
- À minha família, meus filhos Gabriel e Raul pela compreensão durante as minhas ausências e ao meu esposo Alvim pela ajuda incondicional.
- À equipe do LabMov pela colaboração técnica e pessoal de cada colega, e ao coordenador Prof. Milton Luiz Siqueira.
- Ao pessoal do SG-9, na pessoa do colega Cláudio Pereira de Almeida pela cooperação na construção de acessórios e na montagem dos ensaios.
- Ao Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro em especial ao Técnico Ambiental João Evangelista Anacleto pela ajuda na realização dos ensaios.
- Ao Departamento de Engenharia Florestal da UnB, pela oportunidade de desenvolver este trabalho.
- Às empresas Duratex S.A. e a Alberflex pela concessão do material utilizado neste trabalho.
- Ao meu orientador Prof. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi.
- E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

EFEITO DA ESPESSURA E DO VÃO SOBRE DEFORMAÇÃO EM FLEXÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE MÓVEIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento deformacional de painéis de MDF (*Medium Density Fiberboard*) e de MDP (*Medium Density Particleboard*) e foi motivado pelo fato desses materiais serem os mais utilizados na fabricação de móveis que possuem superfícies horizontais que sofrem sob o efeito de cargas, tais como prateleiras. Para análise dos painéis foram determinadas a densidade aparente e teor umidade e as propriedades mecânicas de MOE, MOR e a carga máxima em flexão estática. Foi realizado um experimento com amostras dos painéis, em três espessuras (15 mm, 18 mm e 25 mm) e três vãos com relação L/h (vão dividido pela espessura) de 30, 35 e 40, totalizando nove tratamentos para cada tipo de painel com três repetições. Essas amostras foram submetidas a ensaios de flexão com cargas equivalentes a 25 g/cm² uniformemente distribuídas. A deformação era registrada ao final de uma semana com o plano carregado e após a retirada da carga era registrada a deformação residual. Foi feita a análise estatística dos resultados encontrados onde se avaliou o efeito dos tratamentos, o efeito do vão e o efeito da espessura e a relação entre os resultados obtidos nos ensaios de flexão e as propriedades dos painéis. A análise das médias apresentou diferenças significativas entre os resultados obtidos entre as espessuras, no entanto demonstraram que o efeito do vão é mais significativo do que o efeito da espessura e apontaram que a melhor relação L/h é igual a 30. Os resultados mostraram também que painéis com maiores valores de MOE e de MOR são mais resistentes à deformação.

Palavras-chave: Painéis de madeira, vão, espessura, flexão.

Autor: Valéria Maria de Figueiredo Pazetto.

Orientador: Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, Janeiro (2009)

ABSTRACT

EFFECT OF THE THICKNESS AND THE SPAN ON DEFORMATION IN BENDING OF WOOD PANELS USED IN PRODUCTION OF FURNITURE

This study aimed to evaluate the behavior of the deformation of MDF (Medium Density Fiberboard) and MDP (Medium Density particleboard) panels and was motivated by the fact that these materials are the most frequently used in the manufacture of furniture that have horizontal surfaces and are under the influence of loads, such as shelves. For analysis of the panels the density and moisture content and the mechanical properties of MOE, MOR and maximum loaded in static bending were determined. An experiment was conducted with samples of the panels in three thicknesses (15 mm, 18 mm and 25 mm) and three different spans with relationship L / h (span divided by thickness) of 30, 35 and 40, totaling nine treatments for each kind of panel with three replicates. Samples were subjected to tests of bending with loads equivalent to 25 g/cm² uniformly distributed. The strain was recorded at the end of a week with the sample loaded and was registered after the withdrawal of the load the residual strain. The statistical analysis of the results were done about the effect of treatments, the effect of span and the effect of thickness and the relationship between the results from tests of bending and properties of the panels. The analysis of variances showed significant differences among panels thicknesses, however demonstrated that the effect of the span was more significant than the effect of thickness and pointed out that the best L / h is equal to 30. The results also showed that panels with higher values of MOR and MOE are more resistant to deformation.

Key-words: Wood composites, span, thickness, bending

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVO	2
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 - COMPOSTOS DE MADEIRA	3
3.1.1 - Aglomerado	4
3.1.2 - MDF (Medium Density Fibreboard).	6
3.2 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.	7
3.2.1 - Módulo de Elasticidade	8
3.2.2 - Propriedade dependentes do tempo para madeira e seus derivados	10
3.2.2.1 - Fluência e relaxação.	11
3.2.2.2 - Duração da carga	14
3.3 - EFEITO DAS DIMENSÕES E FORMAS DOS CORPOS-SE-PROVA	16
3.4 - ENSAIOS EM PLANOS HORIZONTAIS DE MÓVEIS	17
3.5. A IMPORTÂNCIA DO DESIGN NA QUALIDADE DE MÓVEIS.	21
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 - MATERIAIS	23
4.2. ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA	23
4.2. ENSAIOS DE FLEXÃO DE PLANOS HORIZONTAIS	25
4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MDF E DE MDP	28
5.2. ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA	29
5.2.1 - Carga e deformação no limite proporcional	29

5.2.2 - Carga máxima.....	30
5.2.3 - Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura	32
5.3. ENSAIOS DE FLEXÃO DE PLANOS HORIZONTAIS	34
5.3.1 - Análise geral.....	34
5.3.2 - Efeito do vão.....	36
5.3.3 - Efeito da espessura	39
5.3.4. Efeito do vão em cada espessura estudada	40
5.3.5 - Comparação entre MDF e MDP	42
5.3. COMPARAÇÃO DA FLEXÃO ESTÁTICA COM A FLEXÃO DOS PAINÉIS DE MDF E MDP.....	43
6 - CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	47
APÊNDICES	50
A - DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE DE MDF E DE MDP.	51
B - PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM MDF E MDP.....	52
C - DADOS DOS CORPOS-DE-PROVA E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM MDF	53
D - DADOS DOS CORPOS-DE-PROVA E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM MDP.....	54
E - ANÁLISE ESTATÍSTICA..	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do aglomerado declaradas pelo fabricante.	6
Tabela 2 - Propriedades do MDF declarada pelo fabricante	7
Tabela 3 - Dimensão dos corpos-de-prova para ensaio de flexão estática	23
Tabela 4 - Resumo da velocidade, raio dos aplicadores e suporte dos corpos-de-prova para as três espessuras utilizadas	24
Tabela 5 - Dimensões e vãos das amostras dos ensaios de flexão	25
Tabela 6 - Planejamento do experimento pelo número de tratamentos.....	27
Tabela 7 - Comparação do MOR e MOE com os valores relativos das médias das deformações.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Figura 1. Classificação dos painéis de madeira pela matéria e densidade (Suchsland e Woodson, 1986 adaptado).....	3
Figura 2. Efeito de Poisson, quando uma força é aplicada, eixo y, ocorre uma diminuição da seção transversal do corpo, eixo x.....	9
Figura 3. Gráfico da curva tensão x deformação de compósitos de madeira. (BODIG e JAYNE, 1993).....	10
Figura 4. Gráficos da (a) função carga x tempo, (b) função deformação x tempo na fluência (Adaptado de BODIG e JAYNE, 1993).....	12
Figura 5. Comportamento da fluência: flexão em função do tempo até a ruptura (LOFERSKI, 1997, adaptado).....	12
Figura 6. Gráficos da (a) função da deformação x tempo, (b) função da carga x tempo na relaxação (BODIG e JAYNE, 1993).....	13
Figura 7. Gráfico do nível de tensão versus a duração da carga máxima, (USDA, 1961 adaptado).....	14
Figura 8. Na relação L/h, o L corresponde ao vão e o h a espessura do material.....	17
Figura 9. Ensaio de resistência dos tampos à carga concentrada (NBR 14111:1998).....	17
Figura 10. Ensaio de flexão de planos horizontais (NBR 13961:2003).....	18
Figura 11. Flechas em prateleira com 300 mm de largura (b) e 600 mm entre apoios.....	19
Figura 12. Flecha em prateleira com 300 mm de largura (b) e 1000 mm entre apoios.....	19
Figura 13. Ensaio de flexão estática em painéis.....	24
Figura 14. Ensaio de flexão em prateleiras.....	26
Figura 15. Densidade de cada espessura dentre MDF e MDP.....	28
Figura 16. Valores médios por espessura, de carga no limite proporcional dentre	29
Figura 17. Valores médios de deformação no limite proporcional dentre MDF e MDP.....	30
Figura 18. Valores médios de carga máxima dentre MDF e MDP.....	30
Figura 19. Curva carga x deformação dos painéis de MDF, nas espessuras de 15 mm, 18 mm e 25 mm.....	31
Figura 20. Curva carga x deformação dos painéis de MDP, nas espessuras de 15 mm, 18 mm e 25 mm.....	31
Figura 21. MOE x Densidade de cada espessura de painel dentre MDF e MDP.....	32
Figura 22. MOR x Densidade em cada espessura de painel dentre MDF e MDP.....	33

Figura 23. MOE x MOR dentre MDF e MDP.....	34
Figura 24A. Valores médios da deformação final com carga e deformação residual relativos à espessura nos tratamento em MDF.....	35
Figura 24B. Valores médios da deformação final com carga e deformação residual relativos ao vão nos tratamento em MDF.	35
Figura 25A. Valores médios da deformação final com carga e deformação residual relativos à espessura nos tratamento em MDP.....	36
Figura 25B. Valores médios da deformação final com carga e deformação residual relativos ao vão nos tratamento em MDP.....	36
Figura 26. Média da deformação pelo vão (relação L/h) dos painéis dentre MDF e MDP.....	37
Figura 27. Comparação entre a deformação final com carga dos painéis e os valores de referência da norma NBR 13961(2003).....	38
Figura 28. Comparação entre a deformação residual dos painéis e os valores de referência da norma NBR 13961(2003).....	38
Figura 29. Média geral da deformação por espessura dentre CPs de MDF e MDP.....	39
Figura 30. Valores relativos da deformação final c/ carga e residual geral por espessura dentre MDF e MDP.....	40
Figura 31A. Valores relativos das deformações final c/ carga e residual por 15 mm de espessura dentre MDF e MDP.....	41
Figura 31B. Valores relativos das deformações final c/ carga e residual por 18 mm de espessura dentre MDF e MDP.	41
Figura 31C. Valores relativos das deformações final c/ carga e residual por 25 mm de espessura dentre MDF e MDP.....	41
Figura 32. Comparação das deformações relativas entre MDF e MDP. Efeito do Vão, e da Espessura.	43

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e o aumento da utilização de florestas nativas, em pouco tempo os recursos florestais não serão suficientes para atender a crescente demanda. Pesquisas vêm sendo feitas para melhorar a qualidade dos produtos derivados da madeira no sentido de se atender às exigências de mercado, buscando desenvolver produtos com maior resistência, durabilidade e com custo mais baixo.

A utilização dos painéis de madeira reconstituída em substituição à madeira maciça vem ocorrendo cada vez mais, tanto na fabricação de móveis como na construção civil com a utilização de painéis estruturais. Esse crescimento se deve principalmente a fatores como a escassez de madeira maciça, a estabilidade dimensional dos painéis compostos de madeira, a maior uniformidade dos painéis em comparação com a madeira maciça e a evolução tecnológica na fabricação desses produtos, permitindo melhor usinagem e acabamento. Além desses fatores, há o fato da aceitação por parte dos consumidores como um material ecologicamente correto (ROSA et al, 2007).

A avaliação dos produtos derivados da madeira é de extrema importância, pois com a escassez da madeira serrada e a substituição das florestas nativas pelas florestas plantadas, observa-se um aumento expressivo na produção e consumo de painéis de madeira. Além do que a tecnologia desenvolvida para a fabricação desses materiais permite o uso de subprodutos da indústria madeireira como madeiras de diâmetro reduzido, agregando valor a esse produto e reduzindo a demanda de recursos naturais (MALONEY, 1993). No entanto para se desenvolver produtos de boa qualidade deve-se reconhecer a importância do design principalmente na concepção de móveis. No processo de desenvolvimento de produto, o móvel é projetado para um uso específico e são necessários parâmetros para o correto dimensionamento das superfícies.

Os móveis que possuem superfícies planas de carregamento, incluindo armários, mesas e estantes, são largamente usados em residências e escritórios, mas os fatores que influenciam seu desempenho não foram largamente estudados e apenas uma minoria foi submetida a testes.

O Laboratório de Ensaio em Móveis – LabMov da Universidade de Brasília tem realizado ensaios em móveis de escritório desde 1998, segundo as normas ABNT, e já publicou diversos artigos com o resultado das pesquisas de qualidade de produtos na área de móveis. Durante a realização de ensaios tem sido verificado, nas superfícies sob carregamento deformações excessivas quando os planos horizontais são submetidos a carregamento distribuído.

Como os ensaios têm demonstrado, muitas vezes, materiais que aparentemente são iguais, se comportam de forma diversa sob efeito de carga, apresentando deformações residuais acima do que é recomendado pelas normas (a ABNT NBR 13961:2003 que recomenda uma deformação com a superfície carrega de apenas 0,5% da distância entre os apoios e na deformação residual, após a retirada da carga, de apenas 0,1% da distância entre os apoios).

Os painéis de madeira, assim como a própria madeira são materiais que sofrem com a flexão ao longo do tempo quando sob carregamento, essa tendência à deformação ocorre devido à fluência do material é um fator limitante de sua aplicação. Isso motivou a realização deste estudo sobre o comportamento dos materiais usados para fabricação de superfícies horizontais de carregamento em móveis, investigando-se as conseqüências da espessura do material utilizado e da distancia entre suportes (vãos).

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho foi analisar o efeito da espessura e do vão na deformação em flexão de painéis de MDF (*Medium Density Fiberboard*) e de MDP (*Medium Density Particleboard*), visando sua aplicação em projetos de móveis que possuem superfícies horizontais de carregamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. COMPOSTOS DE MADEIRA

Os painéis de madeira reconstituídos podem ser classificados segundo a transformação da madeira como compostos laminados, compostos particulados e compostos de fibra. Os compostos laminados são os compensados, os compostos particulados são os painéis aglomerados do tipo convencional, o *Wafer board* e o OSB (*Oriented Strand Board*), além dos painéis de fibras que podem ser subdivididos em painéis de média densidade, o MDF (*Medium Density Fiberboard*) e painéis de fibras duras, o HDF (*Hard Density Fiberboard*) (YOUNGQUIST, 1999) (Figura 1).

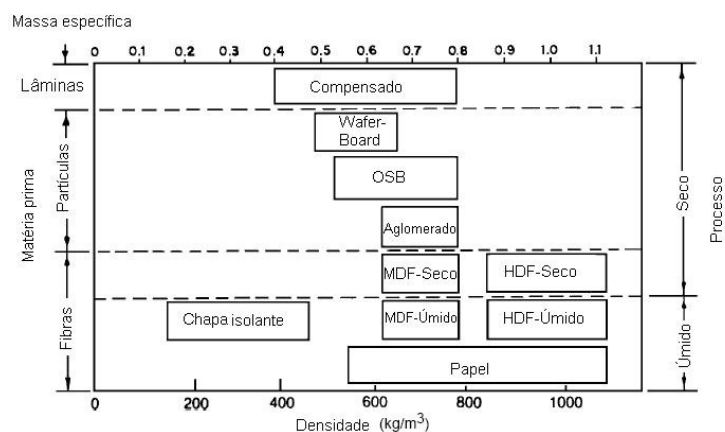


Figura 1. Classificação dos painéis de madeira pela matéria e densidade (Suchsland e Woodson, 1987, adaptado).

Os materiais compostos são formados de dois ou mais componentes que são combinados para produzir um outro material com características específicas, normalmente superiores aos materiais originais. A interação entre esses materiais pode gerar propriedades não existentes nos materiais originais (UCHIMURA, 2006).

Na madeira tanto as propriedades físicas quanto as mecânicas variam entre espécie, entre árvores da mesma espécie, e dentro da mesma árvore em madeira sólida. Durante o processamento da madeira para a fabricação de compostos, suas propriedades podem ser controladas. Selecionando-se as variáveis adequadamente durante o processo, o resultado final pode superar as propriedades da madeira sólida (BODIG e JAYNE, 1993).

Na madeira sólida, as mudanças nas propriedades físicas são estudadas em nível celular. Em materiais reconstituídos de madeira, as mudanças nas propriedades são

estudadas em nível da fibra, partícula, floco ou lâmina. O elemento básico para produtos compostos de madeira pode ser a fibra, mas também podem ser partículas maiores. As fibras podem variar em tamanho e geometria, dando a esses materiais propriedades pré-determinadas, devido ao controle das variações destas características (YOUNGQUIST, 1999).

3.1.1 Aglomerado

O painel de aglomerado é formado a partir da redução da madeira (normalmente madeiras leves) em partículas. Após a obtenção das partículas de madeira, estas são secas, classificadas e aspergidas com resina sintética. A resina comumente empregada é uréia-formaldeído, no entanto várias outras resinas podem ser utilizadas de acordo com o uso pretendido para o produto. Segundo o *Panelguide* de 2004 da *Wood Panel Industries Federation* do Reino Unido, um aglomerado possui em média 83-88% de partículas de madeira, 6- 8% de resina, 5-7% de água, e 1-2% de sólidos de cera de parafina.

Na linha dos aglomerados destaca-se o MDP (*Medium Density Particleboard*), o produto representa uma evolução tecnológica do aglomerado convencional. Uma das suas principais características é a qualidade superior que apresenta em relação aos antigos painéis de madeira aglomerada, em relação a densidade da superfície, já que o MDP é produzido com a aglutinação de partículas de madeira em camadas, ficando as mais finas nas superfícies e as mais delgadas no miolo com resinas especiais, por meio da aplicação simultânea de temperatura e pressão, resultando em um painel homogêneo e de grande estabilidade dimensional (REVISTA DA MADEIRA, 2006).

O MDP é encontrado comercialmente em diversos tamanhos de chapas e variam de 12 mm a 30 mm de espessura, mas pode também ser fabricado sob encomenda em dimensões especiais. Sua densidade varia de acordo com a espécie de madeira e o processo de fabricação do produto. As densidades mais comumente encontradas variam de 600-700 kg/m³ segundo os fabricantes (DURATEX, 2007).

As propriedades do aglomerado permitem sua utilização numa vasta gama de produtos, tanto na construção civil, quanto na fabricação de móveis. Seu desempenho mecânico e sua disponibilidade em chapas de grandes dimensões possibilitam seu uso não apenas na fabricação de móveis, mas também em pisos flutuantes. O aglomerado pode ser fabricado para usos em diferentes condições de umidade e de carga, variando de uso doméstico a uso industrial de acordo com o adesivo utilizado. A norma européia DD ENV 12872:2000 determina condições no uso de painéis em vigas, nos assoalhos, nas paredes e nos telhados. E a norma BS EN 13986:2002 determina características e avaliação de conformidade para painéis de madeira em vários níveis: uso geral em condições secas, uso interno (incluindo móveis) em condições secas, uso como componente não-estrutural em condições úmidas, uso estrutural em condições secas, uso estrutural em condições úmidas, uso estrutural pesado em condições secas e uso estrutural pesado em condições úmidas.

Assim como outros produtos derivados da madeira o aglomerado é higroscópico e suas dimensões variam de acordo com a mudança de umidade. Uma mudança no teor de umidade do painel em torno de 1% pode aumentar ou diminuir o comprimento e a largura em até 0,05% e a espessura da chapa em até 0,5%, segundo a norma BS EN 312:2003 – *Particleboard. Specifications*.

Pelo fato de ser sensível à umidade, o aglomerado antes de ser usado deve ser condicionado até atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente. O tempo necessário para esse condicionamento varia de acordo com a temperatura e a umidade relativa do local. A umidade de equilíbrio do aglomerado varia de acordo com as condições ambientais. Por exemplo, em locais com aquecimento central contínuo pode variar entre 7-9%, onde o ar condicionado central for intermitente pode variar entre 9-12% e em temperatura ambiente até 15% (PANELGUIDE, 2004).

Existem também painéis com maior resistência à umidade, que não são à prova de água; o termo resistente à umidade se aplica apenas ao adesivo que dentro de limites definido por BS EN 312 não se alterará na presença de umidade. Na Tabela 1 estão os valores de algumas propriedades dos painéis de aglomerado relacionadas com sua espessura apresentadas nos catálogos dos fabricantes.

Tabela 1. Propriedades do aglomerado declaradas pelo fabricante.

Propriedade	Unidade	Espessura (mm)		
		15	18	25
Resistência à flexão estática	kgf/cm ²	160		140
Teor de Umidade	%	5 a 11		
Densidade	kg/m ³	575		565

Fonte: Folheto Técnico Duratex – MDP 2007

3.1.2 MDF (*Medium Density Fiberboard*)

O MDF é um derivado de madeira constituído de aproximadamente 82% de fibra (totalmente ou principalmente madeira leve), 10% de resina sintética, 7% de água, menos que 1% de sólidos de cera de parafina e menos que 0,05% de silício. O adesivo mais utilizado é a uréia-formaldeído embora dependendo do nível e uso pretendido para o produto outros adesivos possam ser usados, como fenol-formaldeído e isocianato. No processo de fabricação do MDF a madeira é inicialmente triturada, tratada termicamente e mecanicamente e transformada em fibras, que são aglutinadas por meio de resinas sintéticas, onde é formado um colchão, esse é prensado à alta temperatura na espessura desejada (PANELGUIDE, 2004).

O MDF tem densidade declarada pelos fabricantes variando entre 700 e 800 kg/m³, sua densidade interna está em torno de 600 a 700 kg/m³ e a densidade da face atinge de 1000 até 1100 kg/m³. Os painéis de MDF são encontrados em diferentes dimensões de chapa e espessuras que variam de 2,5 mm a 30 mm (DURATEX, 2007)

Os atributos de acabamento e a trabalhabilidade combinadas às propriedades e a disponibilidade em várias espessuras de chapas e tamanhos, fazem com que o MDF encontre aplicação num vasto leque desde a construção civil até em móveis. É usado para projeto de interiores e aplicações de construção tal como esquadrias, forros de parede, fachadas decorativas e contra piso. O MDF permite corte liso e possui bom acabamento nas bordas e superfície. A superfície relativamente densa e lisa fornece uma base excelente para pintar, envernizar e laminar. Portanto o MDF é usado extensamente em produção de móveis, e com sua valorização, seu uso está sendo estendido à estandes, displays e

expositores, aplicação em exteriores e frentes de loja, assim como componentes dentro de outros produtos (PANELGUIDE, 2004).

O MDF fabricado na Europa para uso em construção segue as especificações das normas europeias: BS EN 622, Parte 1 – *General requirements for all fiberboards* e Parte 5 – *Requirements for dry process boards*. Submete-se também ao padrão normalizado para painéis de madeira pela BS EN 13986 – *Wood-based Panels for Use in Construction – Characteristics, Evaluation of Conformity and Markings*.

Assim como outros produtos derivados da madeira o MDF é higroscópico e suas dimensões mudam de acordo com a mudança de umidade. Os catálogos de fabricantes fazem referências também às propriedades físicas e mecânicas do MDF (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades do MDF declarada pelo fabricante.

Propriedade	Unidade	Espessura (mm)		
		15	18	25
Resistência à flexão estática	kgf/cm ²	205		185
Módulo de Elasticidade	kgf/cm ²	22450		21450
Teor de Umidade	%	4 a 11		
Densidade	kg/m ³	670	660	630

Fonte: Folheto Técnico Duratex – MDF 2007

O MDF pode ser fabricado especificamente para uso em diversas condições ambientais, assim como para diversos níveis de carregamento, podendo ser de uso geral em condições secas, de uso geral em condições úmidas, de uso pesado sob carregamento em condições secas ou ainda de uso pesado sob carregamento em condições úmidas.

3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

As propriedades mecânicas compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura (VILAR, 2004). Na definição da NBR 7190:1997, a resistência é definida como sendo a aptidão da matéria de suportar tensões. A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a

corpos-de-prova isentos de defeitos, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento. Bodig et al (1993), afirmam que a resistência à deformação determina a proporção em que o material é comprimido, fletido ou distorcido sob o efeito da carga/força podendo ocorrer a deformação elástica (mudanças de forma instantâneas) ou a deformação reológica (dependendo do tempo de aplicação).

Ainda segundo o autor, dependendo da magnitude e da velocidade da carga a madeira pode apresentar três estados: elasticidade que é a capacidade de recuperar a sua forma original depois de removida a carga/força; flexibilidade que conjuga elasticidade e rigidez quando solicitada à carga instantânea; ou a plasticidade que é o estado onde ocorrem deformações permanentes, porém com as propriedades mecânicas não sendo desfavoravelmente comprometidas. Entretanto, pode apresentar fenômenos de ruptura ou de deformação específica excessiva (NBR 7190:1997), isto é, o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR), que são parâmetros normalmente determinados nos ensaios de flexão estática, os quais são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira. Ambos dão boa aproximação da resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal de um corpo, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais (SCANAVACA et al, 2004).

3.2.1. Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é medido pela razão entre a tensão aplicada e a deformação resultante, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. As curvas de tensão x deformação mostram uma região aproximadamente linear no seu início. Nestas regiões a deformação é reversível e o material é considerado elástico e teoricamente retorna ao seu formato original, no entanto, segundo Bodig (1993), não existe material perfeitamente elástico.

Quando um sólido está sujeito a uma força normal o seu comprimento tanto pode variar longitudinalmente como lateralmente. A razão entre as deformações laterais e longitudinais expressa o coeficiente de Poisson, ou seja, todo e qualquer corpo sólido, quando submetido a uma expansão (provocada por uma força de tração) em uma determinada direção, sofrerá uma contração em uma direção perpendicular àquela em que

ele expandiu (Figura 2). A relação entre a contração e a expansão sofrida é fixa e própria de cada material (MIRANDA, 2003).

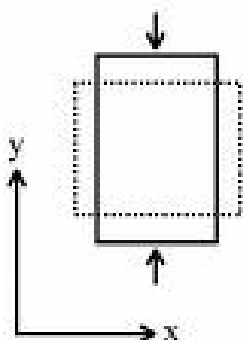


Figura 2. Efeito de Poisson, quando uma força é aplicada, eixo y, ocorre uma diminuição da seção transversal do corpo, eixo x.(MSPC 2008, adaptado)

Conclui-se então, que qualquer força sobre um corpo altera sua forma, isto é, provoca uma deformação. Na mecânica podemos dividir as deformações basicamente em deformação elástica e deformação permanente. Na deformação elástica o corpo retorna ao seu estado original após cessar o efeito da força. Isso acontece se esse corpo for submetido a uma tensão que não supere a tensão de elasticidade do mesmo. Na deformação permanente o corpo não retorna ao seu estado original, permanecendo deformado permanentemente. Isso acontece se o corpo for submetido a uma tensão maior que a tensão no limite elástico e menor que a tensão de ruptura do material. Já a resistência à flexão expressa a carga máxima que uma peça pode suportar quando submetida a uma carga com o objetivo de flexioná-la (BODIG e JAYNE, 1993).

No gráfico da tensão x deformação de compostos de madeira (Figura 3), pode-se notar quatro regiões distintas da curva de tensão-deformação, sendo A o alinhamento inicial, B a deformação dentro do regime elástico, C a deformação acima do limite proporcional e D após a ruptura.

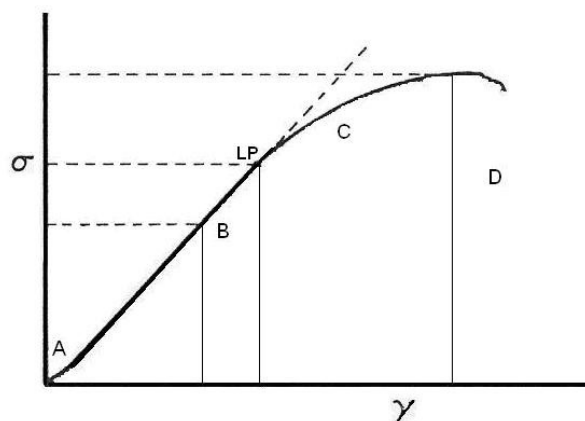


Figura 3. Gráfico da curva tensão x deformação de compósitos de madeira. (BODIG e JAYNE, 1993)

A região onde ocorre a linearidade é que se aplica a lei de Hooke “a tensão resultante da aplicação de uma força em um material é diretamente proporcional à sua deformação”. A expressão da lei de Hooke é representada pela equação $\sigma = E \times \gamma$ onde σ é a tensão aplicada ao material, γ é a deformação sofrida em decorrência da tensão aplicada e E é o módulo de elasticidade sendo válida somente para o trecho reto do diagrama tensão x deformação, ou seja, até o ponto conhecido como limite proporcional.

3.2.2 Propriedades dependentes do tempo para madeira e seus derivados

Os efeitos dependentes do tempo são complexos e são causados primeiramente por mudanças na organização molecular dos polímeros que compõem a madeira – celulose, hemicelulose e lignina. No entanto nos compostos lignocelulósicos os adesivos usados também podem apresentar comportamento dependente do tempo o que pode influenciar nas propriedades desses produtos (FRIHART, 2005)

A madeira e conseqüentemente seus derivados são materiais viscoelásticos e caracterizam-se por apresentarem uma resposta de deformação em função do tempo para uma determinada tensão aplicada, por este motivo também são conhecidos como materiais dependentes do tempo. A denominação de viscoelasticidade aplica-se aos materiais que apresentam um comportamento elástico, através de uma deformação imediata, combinado com o comportamento viscoso, que se apresenta ao longo tempo para uma tensão constante aplicada. O termo viscoelasticidade é uma denominação genérica para os conceitos de fluência, deformação lenta, relaxação, fluência (*creep*) e recuperação (*recovery*) (BODIG e JAYNE, 1993).

Ainda segundo o autor, em materiais viscosos e viscoelásticos como a madeira, a resistência é uma função da duração da tensão aplicada não sendo suficiente para descrição de sua resistência apenas um critério de tensão. A viscoelasticidade significa que o comportamento do material é dependente do tempo, portanto em um instante qualquer sob carga seu desempenho será uma função do esforço acumulado ao longo do tempo. Quando exposta à tensão constante a deformação aumentará com o tempo, podendo causar a ruptura do material.

A mecânica dos fluidos e a mecânica dos sólidos estão fundamentadas em conceitos de mecânica dos meios contínuos e relacionam tensão com deformação (FUNG, 1969). A mecânica dos fluidos desenvolve seus conceitos principalmente para fluidos Newtonianos, que são aqueles onde a tensão é diretamente proporcional à taxa de deformação, como água, ar e óleo. Paralelamente, a mecânica dos sólidos desenvolve aplicações para sólidos puramente elásticos. Entretanto, existem fluidos e sólidos que têm comportamento não linear de tensão versus deformação. Mais ainda há materiais que apresentam, simultaneamente, características viscosas e elásticas, os quais são denominados fluidos viscoelásticos. As características destes materiais ampliam a definição de sólidos e fluidos, constituindo a área, conhecida como reologia (BIRD, 1987).

3.2.2.1. Fluência e relaxação

Quando uma peça de madeira é carregada, sofre inicialmente deformação elástica. Se a carga é mantida, ocorre uma deformação adicional em função do tempo. Isto é chamado de fluência. Portanto pode-se dizer que a fluência é a deformação progressiva de um material sob efeito de carga constante, durante um longo período de tempo (Figura 4).

Variações climáticas de temperatura e umidade aumentarão a fluência. Na madeira verde pode acontecer uma fluência de quatro a seis vezes maior na deformação inicial do que na madeira seca sob carga. Após um determinado tempo sob carregamento, ocorre apenas uma recuperação de aproximadamente 1/2 decorrente da fluência. As flutuações em temperatura e umidade aumentam a magnitude da deformação recuperada (GREEN et al, 2002).

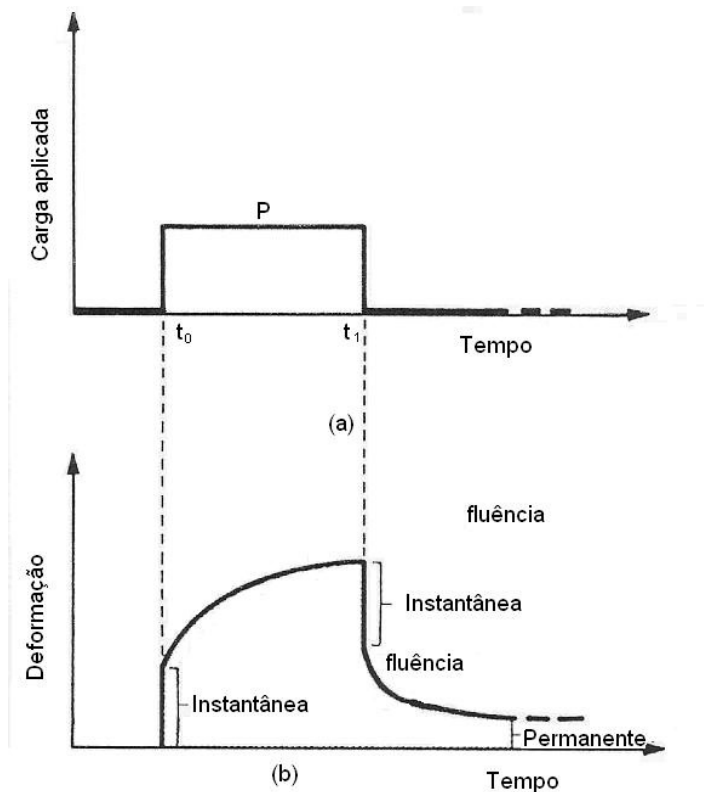


Figura 4. Gráficos da (a) função carga x tempo, (b) função deformação x tempo na fluência (Adaptado de BODIG e JAYNE, 1993).

A fluência ocorre mesmo com baixa tensão, e irá continuar por um período de anos. No início a fluência acontece relativamente rápida, e decresce a uma taxa de deformação quase imperceptível. Baixos níveis de tensão produzem apenas fluência primária, quando há um nível moderado de tensão ocorre fluência secundária com taxa constante. No entanto para uma alta tensão, eventualmente ocorre a fluência terciária e eventualmente a falha (Figura 5). Esse fenômeno da falha é chamado de ruptura por fluência (LOFERSKI, 1997).

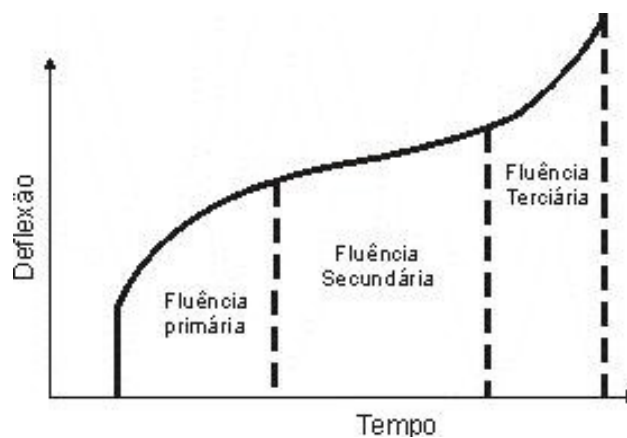


Figura 5. Comportamento da fluência: flexão em função do tempo até a ruptura (LOFERSKI, 1997, adaptado).

Segundo esse autor a fluência relativa com baixos níveis de carga é semelhante na flexão, tração, ou na compressão paralela às fibras, embora possa ser menor na tração que na flexão ou na compressão sob condições de umidade diferentes. A fluência relativa no sentido perpendicular às fibras qualitativamente é semelhante, mas é possível que seja maior que a fluência paralela às fibras. Já, se em vez de carga controlada ou tensão, uma deformação constante é imposta e é mantida numa peça de madeira, a tensão inicial relaxa a uma velocidade decrescente a aproximadamente 60% a 70% de seu valor original dentro de alguns meses. Essa redução de tensão com tempo comumente é chamada relaxação.

Ao contrário se a carga for aplicada instantaneamente e mantida constante por um período de tempo a tensão irá diminuir com o tempo para se manter a mesma taxa de deformação que é o fenômeno da relaxação como mostra a Figura 6.

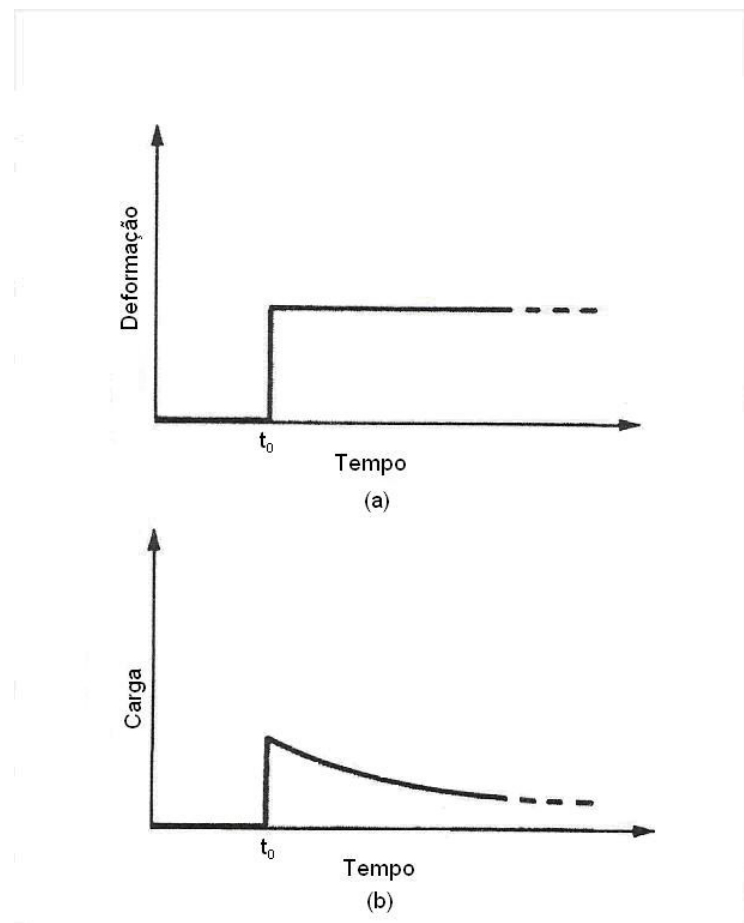


Figura 6. Gráficos da (a) função da deformação x tempo, (b) função da carga x tempo na relaxação (BODIG e JAYNE, 1993).

Em resumo, os termos fluência e relaxação são mais bem entendidos da seguinte forma: quando o deslocamento aumenta ou flui com o tempo sob constante tensão, a

resistência a tensão interna relaxa sob constante deformação. Ou seja, na fluência ocorre o aumento da deformação até um determinado ponto, sob efeito de uma tensão constante ao longo do tempo. E na relaxação, para ocorrer uma deformação constante, será necessária a diminuição da tensão ao longo do tempo devido à acomodação das camadas do material.

3.2.2.2 Duração da carga

A duração da carga é de fundamental importância para os materiais que apresentam propriedades que dependem do tempo tal como a madeira, significando, portanto, que o material analisado apresenta variações reológicas. A deformação da madeira sob efeito de carga em decorrência do tempo sempre ocorre. Se a carga for suficientemente alta e a duração da carga for longa, ocorrerá eventualmente a ruptura por fluência. O tempo necessário para que haja falha é comumente chamado de duração da carga ou frequência de carregamento (WOOD, 1961).

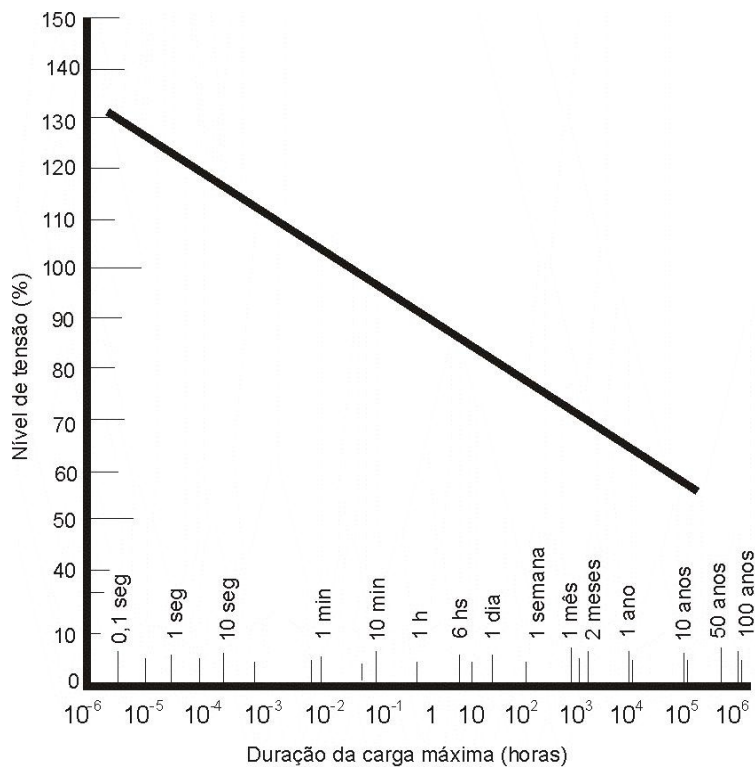


Figura 7. Gráfico do nível de tensão versus a duração da carga máxima, (USDA, 1961 adaptado).

Os ensaios de resistência estática são conduzidos até o limite de carregamento ou limite de deformação para se obter carga máxima. Valores mais altos de resistência são obtidos por carregamento rápido e valores mais baixos são obtidos com cargas mais lentas

(Figura 7). A resistência diminui com o tempo de aplicação de carga máxima (GREEN et al, 2002).

O tempo durante o qual uma carga age num corpo de madeira qualquer de forma contínua ou intermitente, é um fator importante para determinar a carga que uma peça pode suportar com segurança. A duração de carga pode ser afetada por mudanças na temperatura e na umidade relativa e a tensão constante que uma peça de madeira pode suportar é aproximadamente uma função exponencial de tempo de falha (LOFERSKI, 1997).

Loferski (1997) afirma que para um corpo que suporta continuamente uma carga durante um longo período, a carga que provocou a falha é muito menor do que determinada pelas propriedades de resistência. Ou seja, uma peça de madeira sob a ação contínua de uma carga de tensão há 10 anos pode suportar apenas 60% (ou talvez menos) da carga necessária para produzir falha, enquanto num mesmo corpo carregado só por alguns minutos pode-se dobrar a força aplicada. Contrariamente, se a duração de carga é muito curta, a capacidade de suportar cargas pode ser mais alta do que as das propriedades tabeladas. O tempo sob carga intermitente tem um efeito cumulativo.

Em ensaios onde uma carga constante foi colocada numa peça e então retirada, no tempo acumulado a carga que realmente foi aplicada à peça antes da falha é essencialmente igual ao tempo de falha para uma peça semelhante sob a mesma carga aplicada continuamente. O tempo de falha sob carga contínua ou intermitente é considerado como ruptura por fluência; um corpo tem que sofrer deformação substancial antes da falha. A falha por deformação é aproximadamente a mesma para ensaios com duração de aplicação de carga quanto a provas normais de força. As mudanças em condições de umidade aumentam a fluência e diminuem o tempo no qual um corpo pode suportar uma determinada carga. Esse efeito acontece sob mudanças bruscas de temperatura e umidade relativa (LAUFENBERG, 1999).

Muitos materiais, particularmente os sólidos, tendem a se comportar próximo ao regime elástico. Para alguns materiais o comportamento elástico possui forma linear. Outros podem ter uma elasticidade não linear. É importante reconhecer que o comportamento elástico não exige necessariamente uma linearidade de carga-deslocamento, apenas a completa e instantânea recuperação da deformação pela remoção da carga. No entanto, como nenhum material é perfeitamente elástico, acontece mesmo que

pequenas deformações, chamadas de modelo elástico (*spring model*), que é uma idealização física para o perfeito comportamento elástico, e é usado para estimar as propriedades de vários materiais. Só por meio de experimentação é que se pode determinar a região do comportamento elástico de cada material. Alguns materiais apresentam a carga-deformação linearmente só até certo nível, depois apresentam não-linearidade (BODIG, 1982).

3.3. EFEITO DAS DIMENSÕES E FORMAS DOS CORPOS-SE-PROVA

Weibull (1939), citado por Madsen (1992), aplicou a teoria do elo mais fraco (*“weakest link theory”*), que diz: “quando uma corrente é submetida a uma tensão sua resistência é equivalente ao seu elo (ponto) mais fraco.” Realizando ensaios baseados em suas considerações teóricas em diversos materiais Weibull mostrou como a resistência de um ponto fraco pode ser explicada por uma distribuição cumulativa de uma exponencial, e como a resistência depende do volume do corpo-de-prova a ser ensaiado, variando a distribuição da carga e assumindo que os pontos fracos estão distribuídos ao longo da peça.

Madsen afirma também que a resistência de peças de madeira está relacionada com o seu comprimento, o mesmo observa também, que ocorre um aumento significativo nos valores de resistência apenas mudando a distribuição da carga, afirmando que a resistência de pequenos vãos é consideravelmente maior do que em vãos mais longos. Para peças sob carregamento estático há duas razões para o efeito do comprimento na resistência da peça, uma associada às propriedades do material e outra criada pela configuração da carga (MADSEN, 1992).

Desta forma, as variações causadas pelas dimensões e formas dos corpos-de-prova sobre as propriedades de resistência da madeira, podem ser exemplificadas pela relação comprimento/aresta da seção transversal (L/h) dos corpos-de-prova para o ensaio de compressão paralela às fibras. Enquanto a relação L/h ideal para teste de compressão paralela às fibras é aproximadamente igual a 4, em ensaios de flexão estática a relação L/h (Figura 8) ideal deve ser superior a 20, pois a partir deste ponto é atribuída uma resistência máxima e constante à madeira (MORESCHI, 2005).

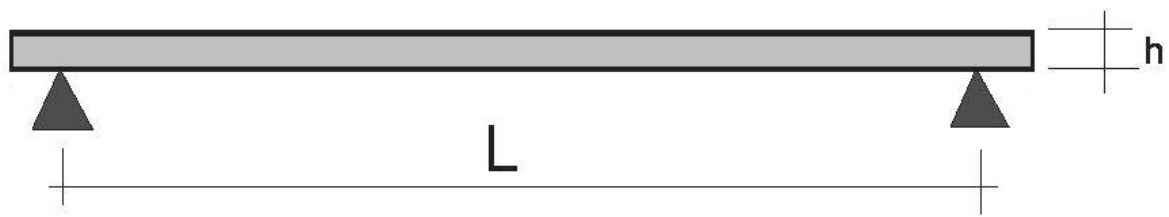


Figura 8. Relação L/h , onde L corresponde ao vão e h à espessura do material.

3.4. ENSAIOS DE PLANOS HORIZONTAIS DE MÓVEIS

As normas brasileiras para mobiliário prevêem vários ensaios de flexão por carregamento estático em planos horizontais. Em todos os móveis que possuem superfícies onde usualmente são utilizadas cargas são feitos simulações de uso por um determinado período de tempo.

Há ensaios específicos para os tampos das mesas que são o de flexão e o de carga concentrada. No ensaio de flexão dos tampos uma carga (g) deve ser distribuída uniformemente na superfície do tampo, calculada de acordo com a área (cm^2) e o nível de severidade do ensaio. As medidas devem ser realizadas: inicialmente sem carga; após uma hora com carga; e ao final sem carga. Onde é registrada a deformação residual (ABNT NBR 14.111:1998).

Nos ensaios de resistência dos tampos de mesa à carga concentrada deve ser aplicada uma força (N) estabelecida pela norma durante 10 s por 10 vezes, sobre a região menos resistente do tampo. A deformação permanente não deve ser maior que 0,1 % da distância entre os suportes do tampo que corresponde ao vão (Figura 9).

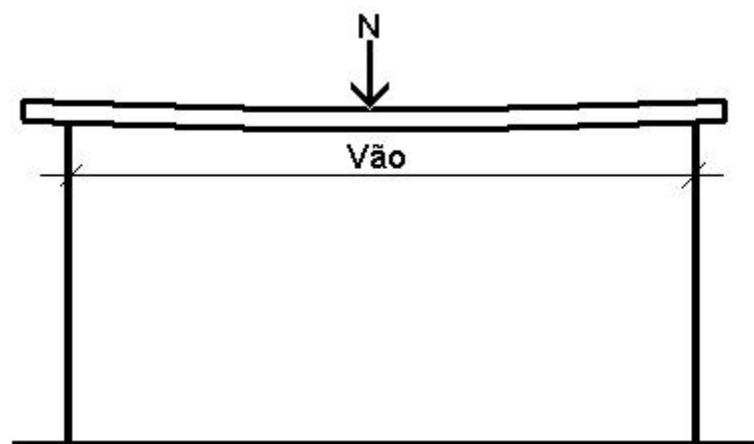


Figura 9. Ensaio de resistência dos tampos à carga concentrada (ABNT NBR 14111:1998).

Nos armários o procedimento de ensaio para prateleiras é o mesmo das mesas, com carga distribuída uniformemente (Figura 10), no entanto há uma diferença significativa no tempo do ensaio de flexão, que é de uma semana ao invés de uma hora, ocasionando uma deformação residual mais significativa (ABNT NBR 13961:2003). A carga aplicada por meio de pesos graduados é calculada em g/cm^2 variando conforme a área da superfície a ser ensaiada.

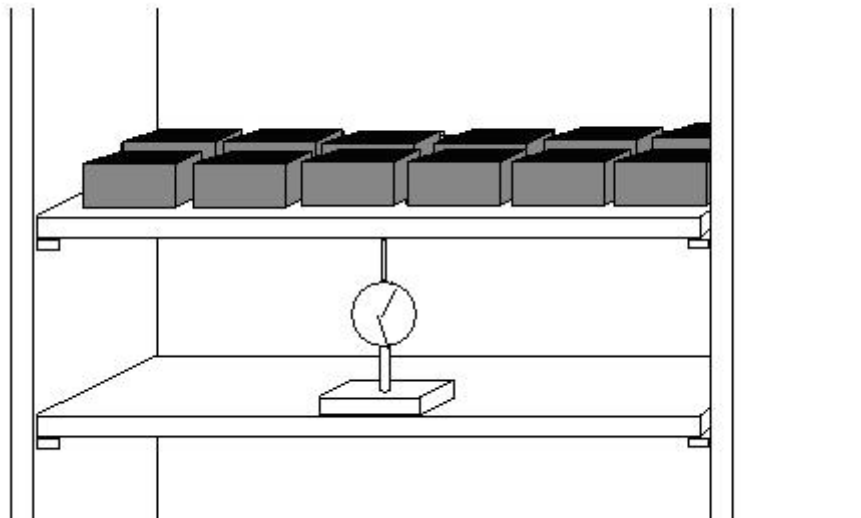
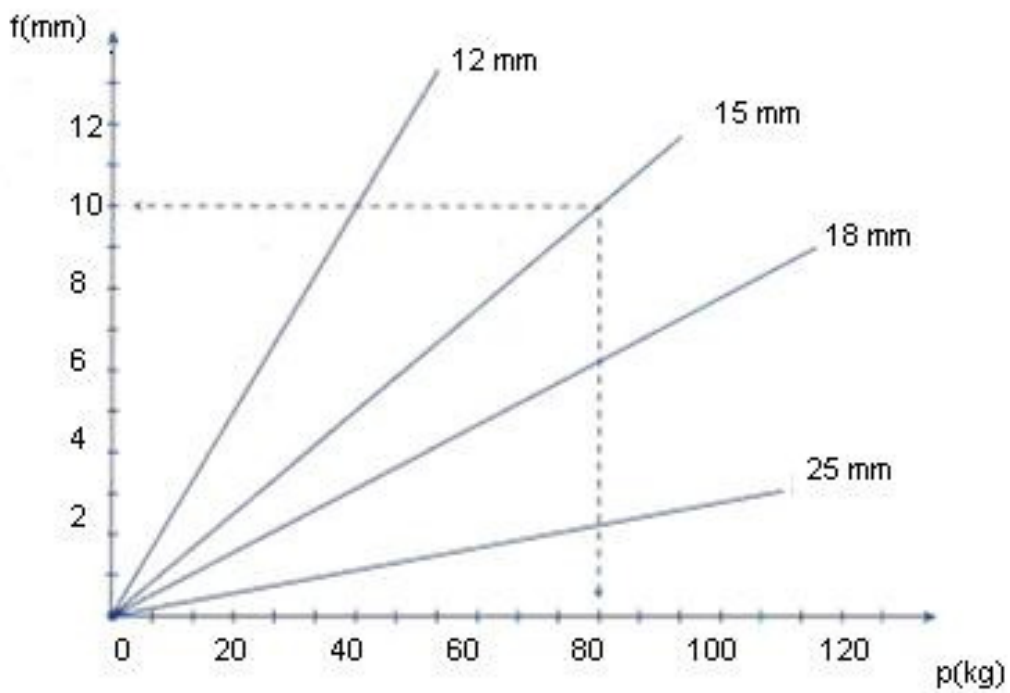


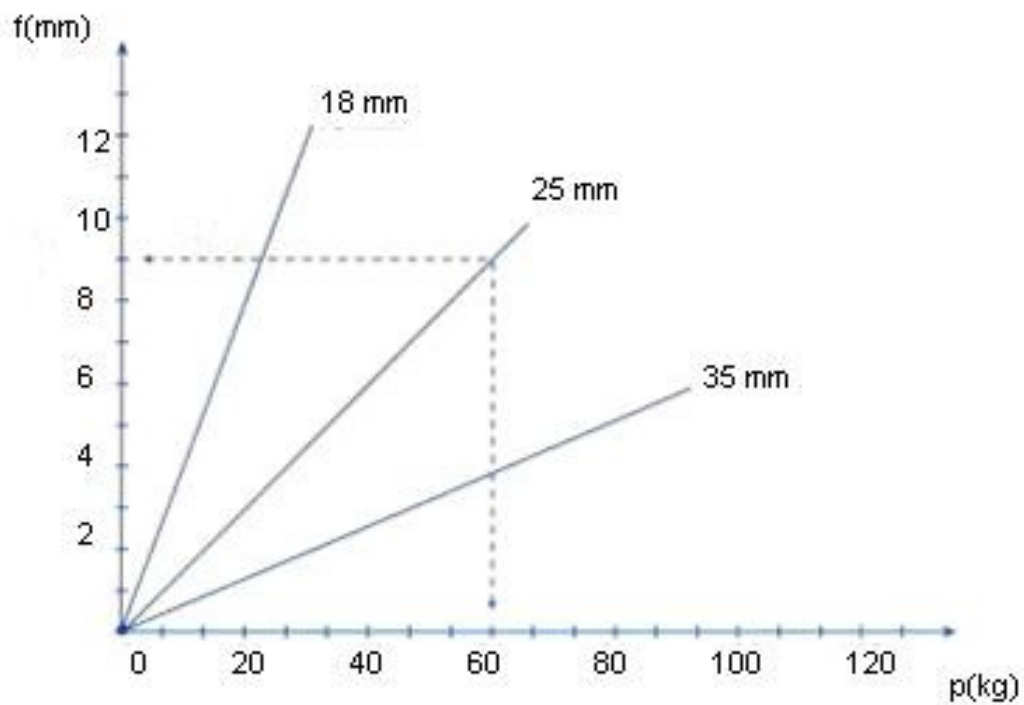
Figura 10. Ensaio de flexão de planos horizontais em armários (NBR 13961:2003).

Segundo recomendações do Manual do Usuário do fabricante Duratex para o uso de MDF em prateleiras nas espessuras de 12 mm, 15 mm, 18 mm e 25 mm, e vão de 600 mm, deve-se observar o gráfico da deformação (Figuras 11 e 12). As cargas foram uniformemente distribuídas, no entanto não foi mencionado o procedimento de ensaios nem o tempo que as prateleiras permaneceram sob efeito de carga.



Fonte: Manual do usuário Duratex (2008)

Figura 11. Flechas em prateleira com 300 mm de largura (b) e 600 mm entre apoios conforme espessuras.



Fonte: Manual do usuário Duratex (2008)

Figura 12. Flecha em prateleira com 300 mm de largura (b) e 1000 mm entre apoios conforme espessuras.

A base de cálculo é expressada pela equação:

$$\Delta = \frac{5 \cdot p \cdot L^3}{32 \cdot E \cdot b \cdot S^3} \times 9,81 \quad (1)$$

Onde Δ é a flecha em mm, “p” a carga distribuída em kg, “L” a distância entre apoios em mm, “S” a espessura da chapa em mm, “E” o módulo de elasticidade em N/mm² e “b” a largura da prateleira em mm. Além disso, foi dado o Módulo de Elasticidade (E) de cada espessura, sendo que a chapa de 12 mm apresentava um E = 2500 N/mm², as chapas com espessuras de 15 mm e 18 mm possuíam um E = 2200 N/mm², a chapa de 25 mm tinha um E = 2100 N/mm² e a chapa de 35 mm um E = 1900 N/mm², sendo 9,81 o fator de conversão de kg para N (MANUAL DO USUÁRIO DURATEX, 2002).

A *Composite Panel Association* (2003) do Canadá realizou um estudo para especificar a relação entre a carga usada em prateleiras, o vão entre os suportes, o tipo de suporte se simples ou múltiplo e a espessura do painel utilizado. A intensidade da carga variando de aproximadamente 25 g/cm², até 5 g/cm² dependendo do uso pretendido para a prateleira. As espessuras dos painéis variavam de 12,7 mm a 20 mm e os vão máximos entre 330 e 500 mm. O estudo gerou um Boletim Técnico intitulado “*Particleboard and MDF for Shelving*” com recomendações dirigidas ao usuário comum. Para engenheiros projetistas e designers foram incluídas informações sobre as especificações técnicas dos painéis e sua classificação industrial.

Denizli-Tankut et al (2002), realizaram ensaios em prateleiras de estantes para de diferentes formas construtivas fabricadas de painéis de madeiras. O objetivo principal dos ensaios foi determinar a flexão no ponto médio frontal da prateleira. A conclusão do estudo revelou que as prateleiras deveriam ser fixadas às laterais da estante com junções rígidas, e que aumentando a espessura, frontal da prateleira ou o MOE do painel pode-se melhorar os resultados da flexão.

3.5. A IMPORTÂNCIA DO DESIGN NA QUALIDADE DE MÓVEIS

Design de produto, também chamado projeto de produto, lida com a produção de objetos e produtos tridimensionais para o uso humano, ligados à vida cotidiana, como utilidades doméstica, mobiliário, eletroeletrônicos, entre outros. Para Bonsiepe (1997), o design consiste na melhoria da qualidade de uso do produto, na forma de um novo produto, do seu processo de fabricação, da sustentabilidade ambiental e social, da forma de acesso a um produto socialmente inclusivo, da aplicação de novos materiais e da qualidade estética.

Os principais conhecimentos utilizados no design de produtos são a metodologia de projeto, os materiais utilizados e os processos de fabricação envolvidos. A metodologia de desenvolvimento de produto envolve várias etapas. Resumidamente podemos dizer que a primeira delas é a definição do problema, que muitas vezes é antecedida por uma pesquisa de mercado, onde se constata a necessidade do desenvolvimento de um novo produto para atender a uma demanda específica, ou do *redesign* de um produto existente, incluindo-se melhorias em termos de adequação à produção e funcionalidade do produto. A etapa seguinte, a concepção do produto se dá após a análise da capacidade produtiva da empresa, nessa fase são geradas alternativas de produtos, onde são usadas todas as informações coletadas na fase de pesquisa. E por fim é escolhida a opção de projeto, onde a alternativa selecionada é desenvolvida e detalhada, protótipos são confeccionados e caso não haja alterações a serem feitas, segue para a linha de produção (PERUZZI, 1998).

Durante todas as etapas do desenvolvimento de um produto, aspectos como o consumidor final ao qual o produto se destina, e o uso específico do produto são levados em consideração. Esses dois fatores refletem diretamente na escolha do material, tanto em termos de custo, como de adequação do material, o que se traduz como “*produzir o produto certo, pelo preço certo, para o mercado certo, na altura exata*” (ARAÚJO, 1996).

Quando se deseja projetar um móvel deve-se analisar detalhadamente o uso ao qual se destina o produto. Principalmente no caso de móveis utilizados para estocagem devem ser estudados os aspectos relacionados com a resistência dos materiais. Uma prateleira, por exemplo, pode ter usos diversos desde a armazenagem de livros, utensílios de cozinha, roupas entre outros. Para suportar objetos leves é irrelevante a preocupação com a espessura e o vão da peça, no entanto no caso de livros, por exemplo, deve-se analisar a

dimensão da peça e quanto de carga ela é capaz de suportar. A distância entre os apoios e a profundidade da superfície devem estar dimensionadas de acordo com a carga a ser utilizada. Segundo Sexton, (2007) as dimensões das peças determinam o tipo e a espessura do material a ser utilizado.

Vários materiais que podem ser usados na construção de prateleiras, além da pranchas de madeira maciça podem ser usados painéis de compensado, aglomerado e MDF. As qualidades que se espera de um material na hora de confeccionar uma prateleira é que possua preço acessível, estabilidade dimensional, durabilidade, e que seja um material uniforme, de fácil utilização e acabamento. Um outro critério importante é que o material possibilite sua utilização em dimensões variadas, de acordo com as necessidades do projeto. (BENSON, 1968).

Portanto, a magnitude da carga de serviço utilizada em cada prateleira deve ser calculada, para garantir um produto mais durável e que atenda às normas de mobiliário, que têm como objetivo determinar parâmetros de prescrições e aspectos de desempenho para projeto e produtos. Nas antigas versões das normas ABNT para armários e mesas para escritório eram previstos cinco níveis de carga, de acordo com o uso pretendido para o produto, no entanto a classificação do produto muitas vezes não era condizente com o uso ao qual se destinava. Ocorria então que muitas vezes um produto era enquadrado no nível mais brande e era utilizado para uso severo, como por exemplo, para guardar livros, processos, arquivo-morto, objetos de escritório que são armazenados durante anos e possuem um peso considerável. Pensando nisso, a comissão de estudo que revisa as normas, eliminou as classificações e foi mantido apenas o nível de carregamento mais severo (PAZETTO, 2007), no qual está baseada a metodologia dos ensaios de flexão realizados no atual trabalho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

Foram utilizados três chapas de MDF (*Medium Density Fiberboard*) com dimensões de 1830 x 2750 mm e espessuras de 15 mm, 18 mm e 25 mm. Conforme informações do fabricante, os painéis de MDF foram produzidos de pinus, e resina à base de uréia-formaldeído e possuíam densidade variando entre 650 e 700 kg/m³. Também foram utilizadas três chapas de MDP (*Medium Density Particleboard*) com dimensões de 1830 x 2750 mm e espessuras de 15 mm, 18 mm e 25 mm. Os painéis de MDP foram produzidos à partir de partículas de eucalipto e resina à base de uréia-formaldeído com densidade variando entre 550 e 600 kg/m³. Os painéis de MDF foram adquiridos no mercado local e cedidos pela empresa Alberflex fabricante de móveis para escritório para a realização desse trabalho. Já os painéis de MDP foram cedidos diretamente pela Duratex.

4.2. ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA

Para os ensaios de flexão estática foram retiradas 4 (quatro) amostras de cada espessura de painel de MDF e de MDP, totalizando 24 corpos-de-prova (CPs). O vão utilizado foi de 24 vezes a espessura nominal do painel e a largura dos CPs de 76 mm, de acordo com a norma ASTM D-1037:99 (Tabela 3).

Tabela 3. Dimensão dos corpos-de-prova para os ensaios de flexão estática.

Norma ASTM D1037			
Espessura dos painéis (mm)	15	18	25
Largura (mm)	76	76	76
Comprimento = vão + 50 (mm)	410	482	650

Foram realizados ensaios de flexão estática para determinar o módulo de elasticidade – MOE , módulo de ruptura – MOR , a carga no limite proporcional e deformação no limite proporcional dos painéis.

As amostras foram colocadas em câmara climatizada a 20°C e 65% de umidade relativa onde permaneceram até atingirem a umidade de equilíbrio. As amostras foram medidas e pesadas para determinação da densidade aparente dos painéis.

Os testes foram feitos em máquina universal de ensaios INSTRON, hidráulica, com capacidade de aplicação de carga de 20 toneladas no Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro. Os ensaios foram realizados segundo os procedimentos da norma ASTM D1037:1999. De acordo com a norma a velocidade de aplicação da carga foi regulada para 7,5 mm/min para painéis de 15 mm de espessura, 9,0 mm/min para os painéis de 18 mm de espessura e 12,0 mm/min para painéis de 25 mm de espessura. Os suportes e aplicadores de carga (Figura 13) possuíam 22,5 mm de raio para o ensaio de painéis de 15 mm de espessura, 27 mm de raio para os de 18 mm de espessura e 37 mm de raio para os de 25 mm de espessura, conforme Tabela 4.

Tabela 4. Velocidades, raios dos aplicadores e suportes dos corpos-de-prova para as três espessuras de painéis utilizadas.

Norma ASTM D1037			
Espessura dos painéis (mm)	15	18	25
Velocidade (mm/min)	7,5	9	12
Raio de aplicadores e suportes (mm)	22,5	27	37

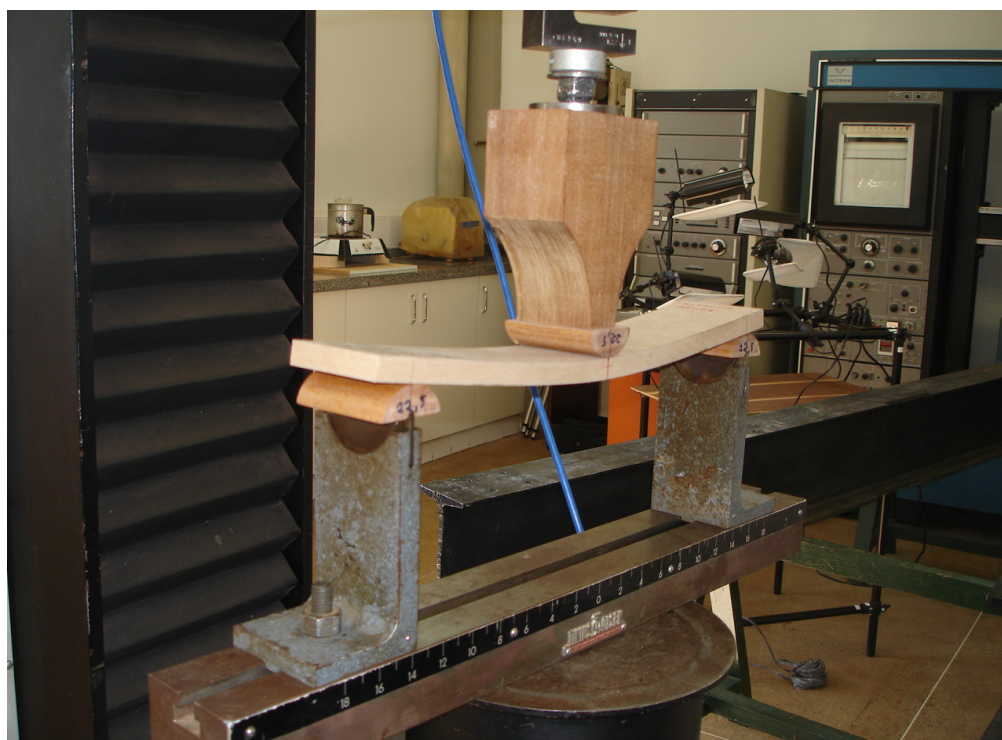


Figura 13. Ensaio de flexão estática em painéis.

4.3. ENSAIOS DE FLEXÃO DE PLANOS HORIZONTAIS

Os ensaios de flexão avaliaram a deformação de painéis de MDF e MDP, sob efeito de carga por um período de 7 dias. Para tanto, foram determinadas as relações L/h de 30, 35 e 40, ou seja, a razão entre o vão (medida entre os apoios) e a espessura dos painéis. De cada chapa foram retirados 9 (nove) corpos-de-prova (CPs) com 400 mm de largura e vãos baseados nas relações L/h pré-determinadas, conforme Tabela 5. Essas dimensões de vão foram escolhidas porque representam as variações nas dimensões da maioria das prateleiras utilizadas. A quantidade total de CPs foi de 54, sendo 27 de MDF e 27 de MDP, já que foram utilizadas 3 espessuras, 3 vãos e foram feitas 3 repetições de cada ensaio.

Tabela 5. Dimensões dos vãos das amostras dos ensaios de flexão.

Relação L/h	Vão dos painéis por espessura		
	15 mm	18 mm	25 mm
30	450	540	750
35	525	630	875
40	600	720	1000

Os painéis foram mantidos em sala climatizada no Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, por duas semanas antes do início dos ensaios, as condições ambientais eram estáveis, $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ e $(65 \pm 2)\%$. Foram retiradas amostras de cada painel, para a determinação de sua densidade básica. O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico, as amostras foram pesadas e mantidas em estufa a $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ por cinco dias até peso constante.

A duração de cada ensaio de flexão foi de uma semana, a carga aplicada em cada CP foi de 25 g/cm^2 , de acordo com o especificado na norma NBR 13961(2003). Foram realizados três ensaios simultaneamente. A carga uniformemente distribuída foi aplicada por anilhas com pesos graduados, conforme mostra a Figura 14, calibrados em laboratório da RBC (Rede Brasileira de Calibração). A flexão foi medida em mm no ponto médio entre os apoios por relógios comparadores analógicos, nas seguintes momentos:

1. antes da aplicação da carga (D_{AC}),
2. ao final do ensaio (sete dias) com o plano carregado, (D_{FE}),
3. e após a remoção da carga, deformação residual em mm(D_{SC}).

A deformação final (D_F) foi calculada segundo a equação 2:

$$D_F = D_{FE} - D_{AC}$$

(Equação 2)

E a deformação residual (D_R) foi dada pela equação 3:

$$D_R = D_{SC} - D_{AC}$$

(Equação 3)

Foram avaliados também as valores da deformação final (D_{FRe}) e residual (D_{RRe}) relativas à espessura (equações 4 e 5) e da deformação final (D_{FRv}) e residual (D_{RRv}) relativas ao vão (equações 6 e 7), para trazer todos os valores para a mesma base de cálculo, conforme equações abaixo:

$$D_{FRe} = \frac{D_F}{Espessura_{painel}} \text{ e } D_{RRe} = \frac{D_R}{Espessura_{painel}} \quad (4 \text{ e } 5)$$

$$D_{FRv} = \frac{D_F}{V\tilde{a}o_{painel}} \text{ e } D_{RRv} = \frac{D_R}{V\tilde{a}o_{painel}} \quad (6 \text{ e } 7)$$



Figura 14. Ensaio de flexão em prateleiras.

A deformação com carga segundo a norma não deve ser maior do que 0,5 % da distância entre os apoios. A deformação sem carga (residual) não deve ser maior do que 0,1% da distância entre os apoios (ABNT NBR 13961:2003).

4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento estatístico foi desenvolvido para se avaliar o efeito do vão (L/h 40, 35 e 30) e da espessura dos painéis sobre as variáveis numéricas, além da comparação entre os resultados dos ensaios realizados em painéis de MDF e em painéis de MDP. Foi utilizado um delineamento estatístico do tipo fatorial completo 3x3, que corresponde às três espessuras dos painéis e as três relações L/h totalizando nove tratamentos com três repetições para cada tratamento (Tabela 6).

Tabela 6. Planejamento do experimento pelo número de tratamentos.

Tratamento	Espessura (mm)	Relação L/h	Carga distribuída (kg)	Nº de repetições
T1	15	30	45	3
T2	15	35	52,5	3
T3	15	40	60	3
T4	18	30	54	3
T5	18	35	60	3
T6	18	40	72	3
T7	25	30	75	3
T8	25	35	87,5	3
T9	25	40	100	3

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias (Tukey a 5% de significância). A análise estatística foi feita com o auxílio do *software* SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MDF E DE MDP

A densidade dos painéis de MDF variou entre 0,64 e 0,70 g/cm³ e o teor de umidade entre 8,4% e 9,5%. Para os painéis de MDP, a densidade ficou entre 0,58 e 0,63 g/cm³ e a umidade variou entre 10% e 10,6 %. (Apêndice A)

A Figura 15 mostra o gráfico da densidade média dos painéis e o resultado do teste de Tukey. Apesar de apresentarem valores numéricos semelhantes os painéis apresentaram diferenças significativas nas densidades entre as espessuras analisadas. Observa-se que a densidade encontrada nos painéis de MDF foi superior aos dos painéis de MDP. Isso se deve ao fato do MDF possuir menos espaços vazios, existindo assim, maior área de contato entre as fibras de madeira do que no MDP.

As propriedades apresentadas pelos fabricantes, citadas anteriormente (Tabela 1, pág. 6 e Tabela 2, pág. 7), indicavam valores de densidade do MDF variando entre 670 e 630 e do MDP entre 575 e 565, inversamente proporcional às espessuras. Nas amostras dos painéis analisados foram encontrados valores mais altos de densidades do que os apresentados pelo fabricante em ambos os painéis. No MDF a densidade foi inversamente proporcional à espessura dos painéis, no entanto no MDP não foi observada essa relação.

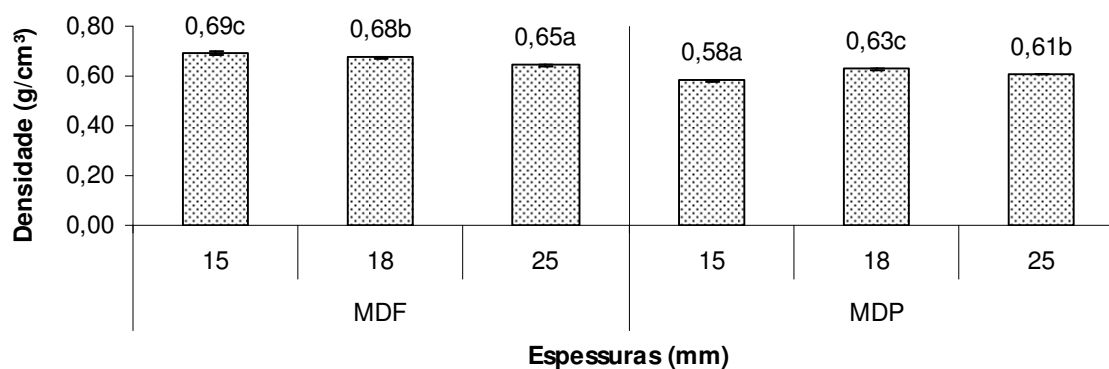


Figura 15. Densidade de cada espessura dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

5.2. ENSAIOS DE FLEXÃO ESTÁTICA

Nos ensaios de flexão estática foram obtidos os valores de carga e deformação no limite proporcional, carga máxima e foram calculados o MOE e o MOR dos painéis. Os resultados dos ensaios foram obtidos diretamente do programa de captação de dados da máquina de ensaios e são apresentados no Apêndice B. A seguir são apresentadas as médias obtidas para as propriedades de flexão estudadas.

5.2.1. Carga e deformação no limite proporcional

Os maiores valores de carga no limite proporcional foram diretamente relacionados com a espessura dos painéis, ou seja, os painéis de maior espessura conforme mostra a Figura 16, obtiveram valores mais altos de carga no limite proporcional, mesmo as amostras possuindo um vão proporcional (24 vezes a espessura nominal do painel) o ensaio demonstrou que painéis com espessuras maiores possuem maior resistência mecânica.

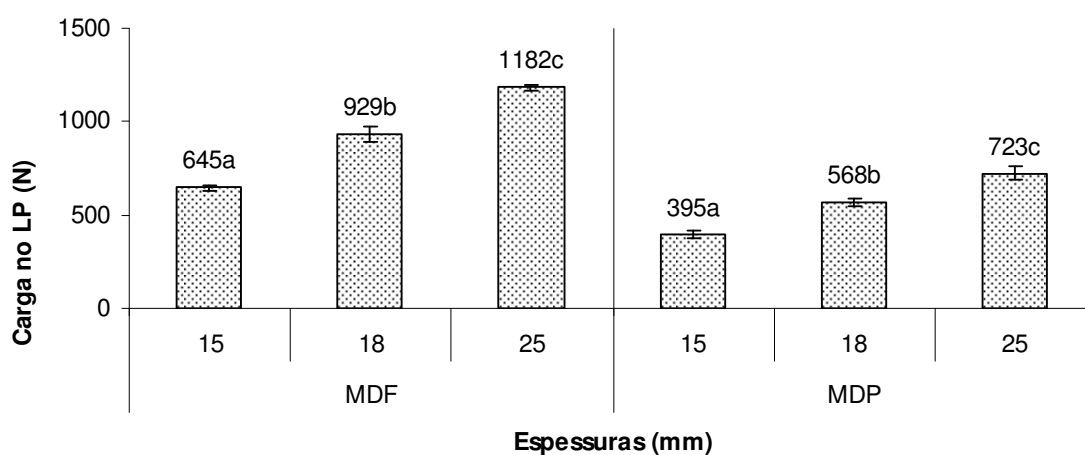


Figura 16. Valores médios por espessura, de carga no limite proporcional dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

Da mesma forma a deformação registrada no limite proporcional também foi maior nos painéis de maior espessura. Os valores de deformação do MDF foram superiores aos do MDP com mesma espessura. A análise estatística detectou a existência de diferenças significativas na deformação dos painéis em cada espessura, conforme a Figura 17.

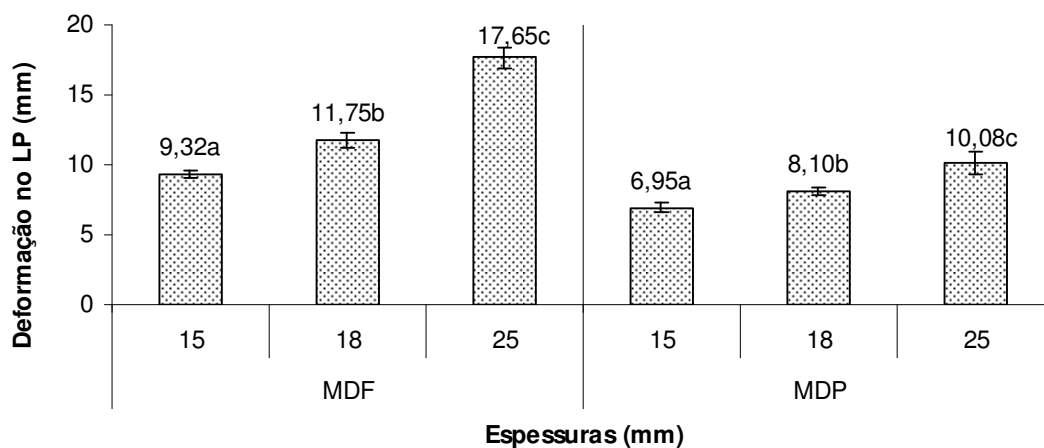


Figura 17. Valores médios de deformação no limite proporcional dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

5.2.2. Carga máxima

Os valores de carga máxima são apresentados na Figura 18. Pode-se observar que os valores são proporcionais às espessuras dos painéis. Ou seja, maiores valores de carga máxima são obtidos em painéis de maior espessura. Assim como na carga e deformação no LP os painéis de MDF apresentaram valores maiores de carga máxima do que os de MDP e no teste de Tukey os resultados foram considerados estatisticamente diferentes.

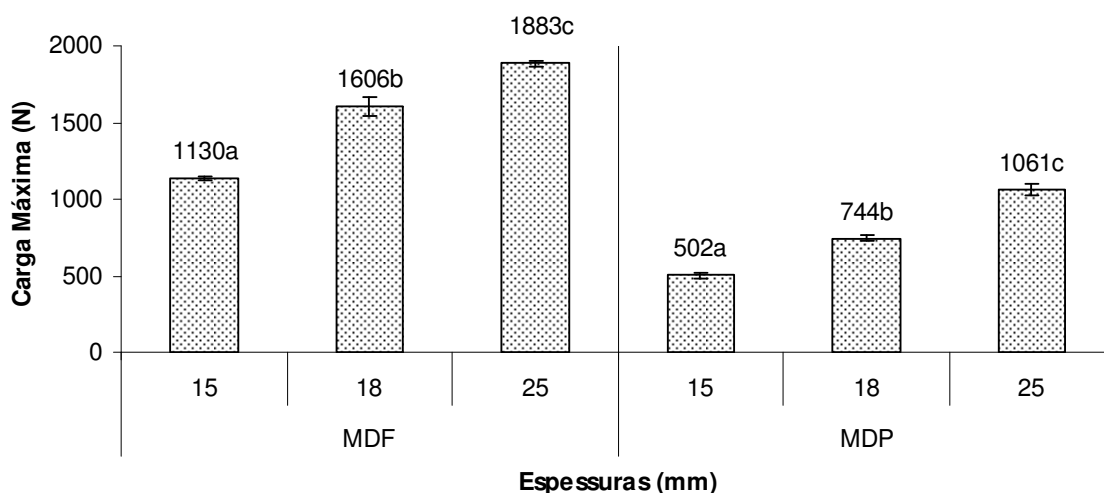


Figura 18. Valores médios de carga máxima dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

As Figuras 19 e 20 mostram a curva carga x deformação da média dos valores encontrados em cada espessura até a carga máxima em MDF e MDP. Estes apresentaram as fases de alinhamento inicial, a deformação dentro do regime elástico e a deformação acima do limite proporcional.

Nos painéis de MDF (Figura 19) pode-se observar que nas espessuras de 18 e 25 mm foram necessárias cargas maiores do que na espessura de 15 mm para ocorrer a deformação da peça, no entanto os painéis de 18 mm demonstraram maior resistência a deformação dentro o regime elástico do que o de 25 mm. Contudo a carga no limite proporcional realmente foi maior em 25 mm. Já nos painéis MDP (Figura 20) houve uma relação direta entre a resistência à deformação e a espessura dos painéis.

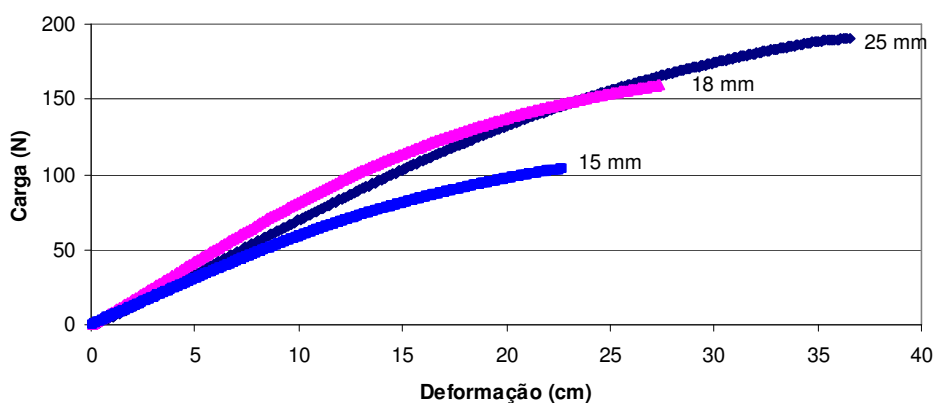


Figura 19. Curva carga x deformação dos painéis de MDF, nas espessuras de 15 mm, 18 mm e 25 mm.

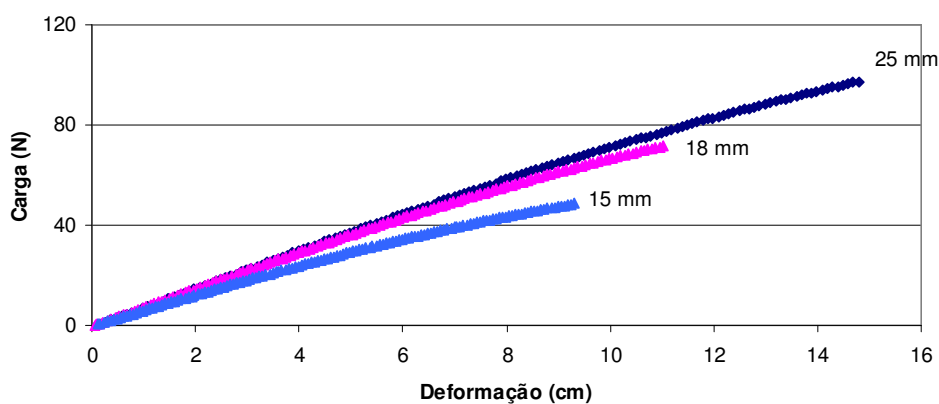


Figura 20. Curva carga x deformação dos painéis de MDP, nas espessuras de 15 mm, 18 mm e 25 mm.

5.2.3. Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura

A Figura 21 apresenta a relação entre o MOE e a densidade dos painéis de MDF e MDP. Os maiores valores do MOE foram encontrados na espessura de 18 mm tanto em MDF quanto em MDP, no entanto não foi encontrada relação entre os valores de densidade dos painéis e os valores do MOE, já que a densidade maior foi encontrada na espessura de 15 mm. Nos painéis de MDP os maiores valores de densidade foram encontrados na espessura de 18 mm, mas não houve diferenças significativas entre o MOE dos painéis de 18 mm e 25 mm.

Segundo Eleotério (2004), não é só a densidade média do painel, mas também outros fatores, como a densidade da matéria-prima, o comprimento das fibras, a densidade da camada externa do painel e seu perfil vertical, tipo e teor de resina, teor de umidade do colchão e outras variáveis relacionadas ao desfibramento, podem influenciar nas propriedades de resistência do painel.

Não foram obtidas com o fabricante as informações sobre a razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada na sua produção. Outros fatores como a geometria das partículas e o teor de resina utilizado também não foram conhecidos, o que segundo Maloney (1993), também podem influenciar nas propriedades mecânicas dos painéis.

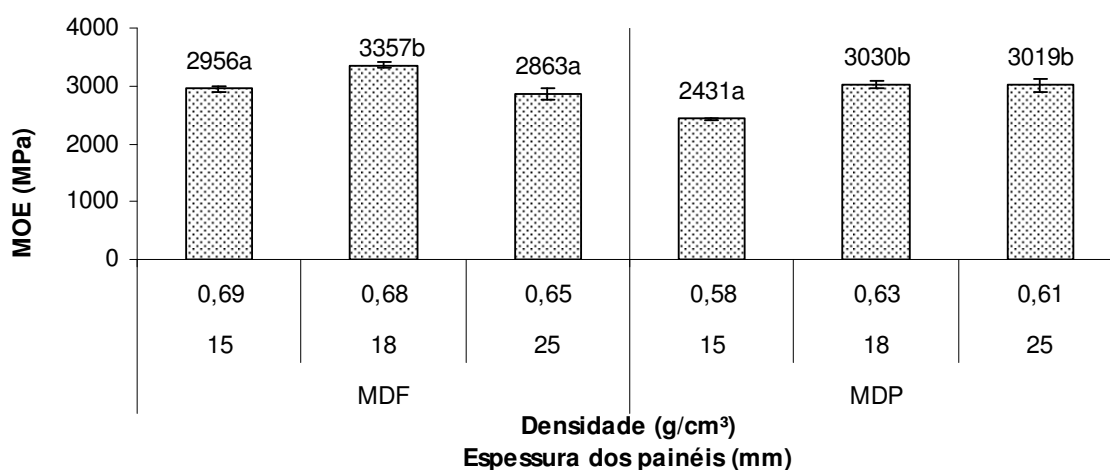


Figura 21. MOE x Densidade de cada espessura de painel dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

Os resultados do MOR foram semelhantes ao do MOE, conforme apresenta a Figura 22, não foi encontrada relação entre os valores de densidade dos painéis e os valores do MOR. O MDF com espessura de 18 mm obteve os maiores valores de MOR enquanto que a densidade maior foi encontrada nos painéis de 15 mm. Já no MDP os maiores valores de densidade foram encontrados nos painéis de 18 mm, mas não houve diferenças significativas entre o MOR dos painéis de 18 mm e 25 mm.

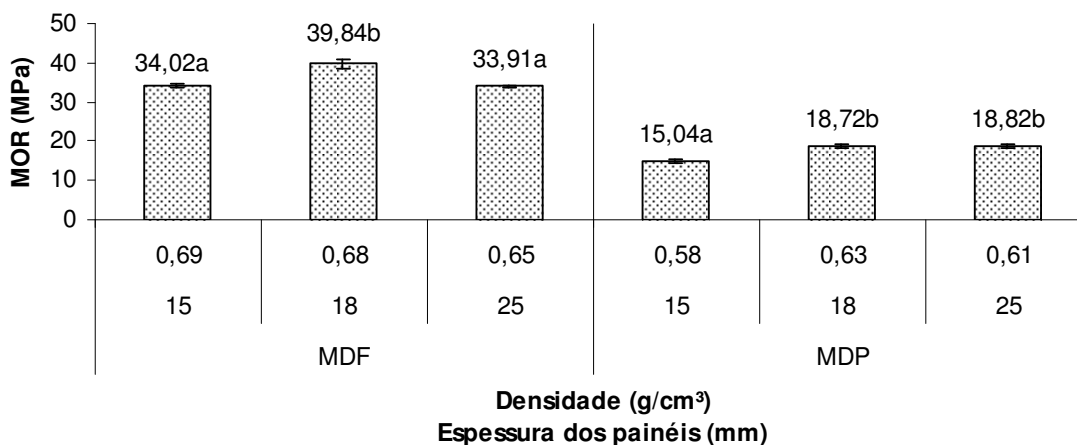


Figura 22. MOR x Densidade em cada espessura de painel dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

A Figura 23 mostra que os painéis de MDP apresentaram valores de MOR inferiores aos de MDF, já os valores do MOE foram muito semelhantes. No entanto pode-se constatar que os painéis com maiores valores de MOR também obtiveram os maiores valores de MOE, com exceção do MDP de 25 mm. Observa-se, entretanto que não há relação entre o MOR, o MOE e a espessura dos painéis, uma vez que nos painéis de MDF tanto o MOE como o MOR foram estatisticamente iguais nos painéis de 25 mm e de 15 mm. E nos painéis de MDP não houve diferenças significativas do MOR e do MOE entre as espessuras de 25 mm e de 18 mm.

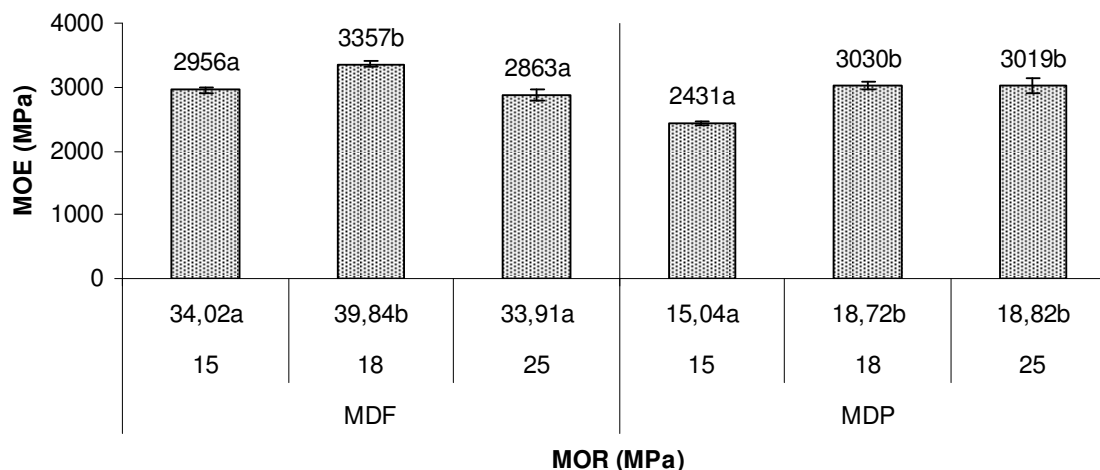


Figura 23. MOE x MOR dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

5.3. ENSAIOS DE FLEXÃO DE PLANOS HORIZONTAIS

Os ensaios de flexão foram realizados em MDF e MDP, e foram avaliadas as relações entre as variáveis vão (relação L/h) e espessuras de cada tipo de painel. Os Apêndices C e D mostram as características dos painéis e os valores encontrados nos ensaios de flexão da deformação com carga final (após uma semana sob carregamento) e da deformação residual (após a retirada da carga).

5.3.1. Análise Geral

As análises estatísticas de MDF e MDP foram feitas separadamente. Na comparação das médias foi aplicado o teste de Tukey, avaliando-se o efeito dos tratamentos. A Figura 24A mostra o teste de Tukey dos tratamentos dos painéis de MDF, com os valores relativos pela espessura, ou seja, valores encontrados de deformação divididos pela espessura (mm/mm). A maior deformação final com plano submetido à carga ocorreu nos tratamentos T3, T6 e T9, ou seja, com relação L/h = 40. A menor deformação com carga ocorreu no tratamento T4 com espessura de 18 mm e vão com relação L/h = 30. Pode-se observar que pelo teste de Tukey os tratamentos, principalmente na deformação final com carga, apresentaram diferenças significativas, que são representadas por letras diferentes. Já após a retirada da carga a maior deformação residual

ocorreu nos tratamentos T7, T8 e T9, ou seja, nos painéis com espessura de 25 mm, os demais tiveram deformações semelhantes.

A Figura 24B mostra a deformação relativa dos painéis de MDF pelo vão, pode-se observar que os resultados encontrados são semelhantes aos da Figura 24A. A maior deformação com carga foi encontrada nos vãos com relação L/h = 40. E a menor deformação com carga no T4.

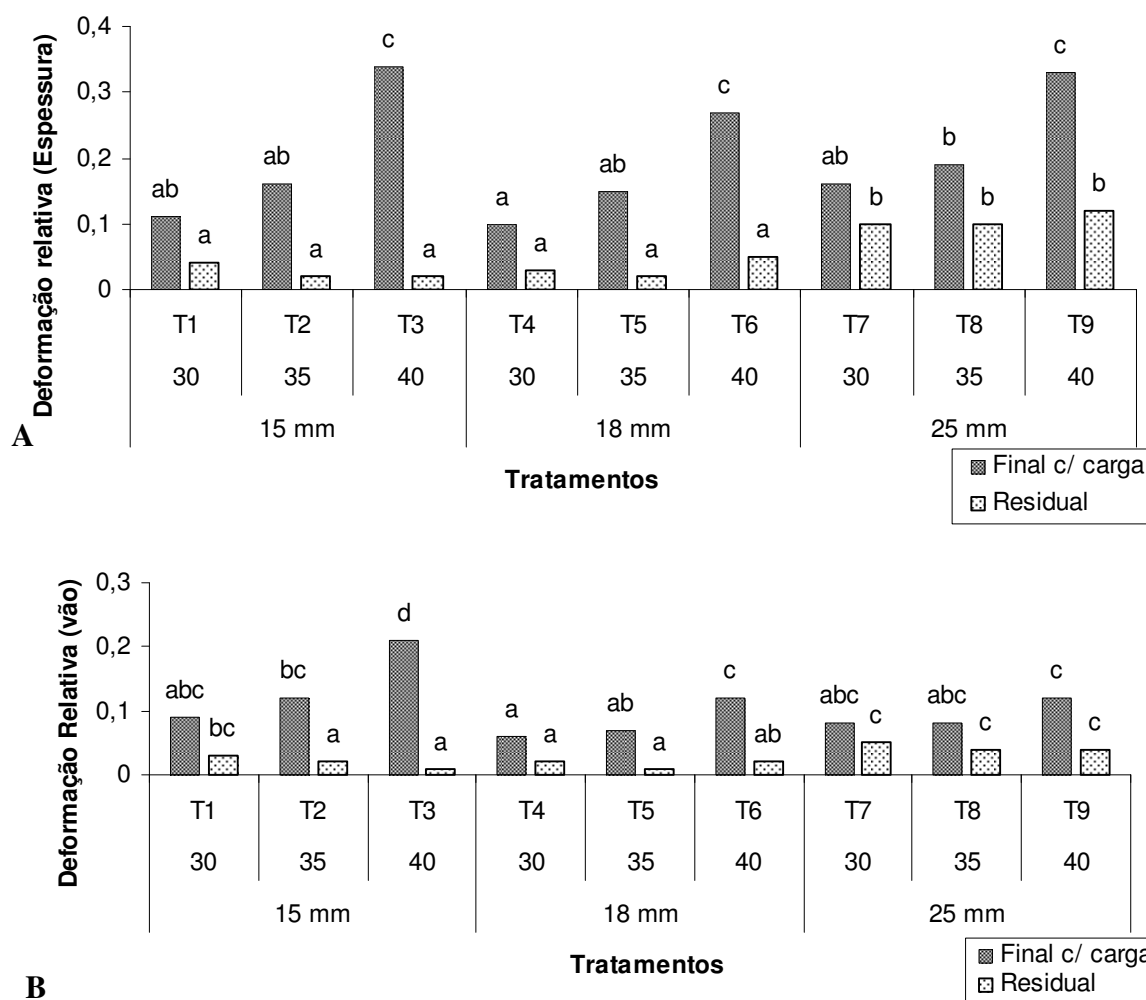


Figura 24. Valores médios da deformação final com carga e deformação residual relativos à espessura (A) e ao vão (B) nos tratamento em MDF. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

A Figura 25A mostra os valores da deformação relativa pela espessura dos painéis de MDP. A maior deformação relativa final com carga foi registrada no tratamento T3, assim como a maior deformação residual. A deformação final com carga pelo teste de Tukey apresentou diferença mais significativa do que a deformação residual. Os menores

valores de deformação final com carga foram registrados nos tratamentos T7, T4, e da deformação residual no tratamento T1.

Nos valores relativos pelo vão (Figura 25B) a maior deformação com carga foi encontrada no T9. E as menores deformações com carga e residual foram registradas nos tratamentos T1, T2 e T4.

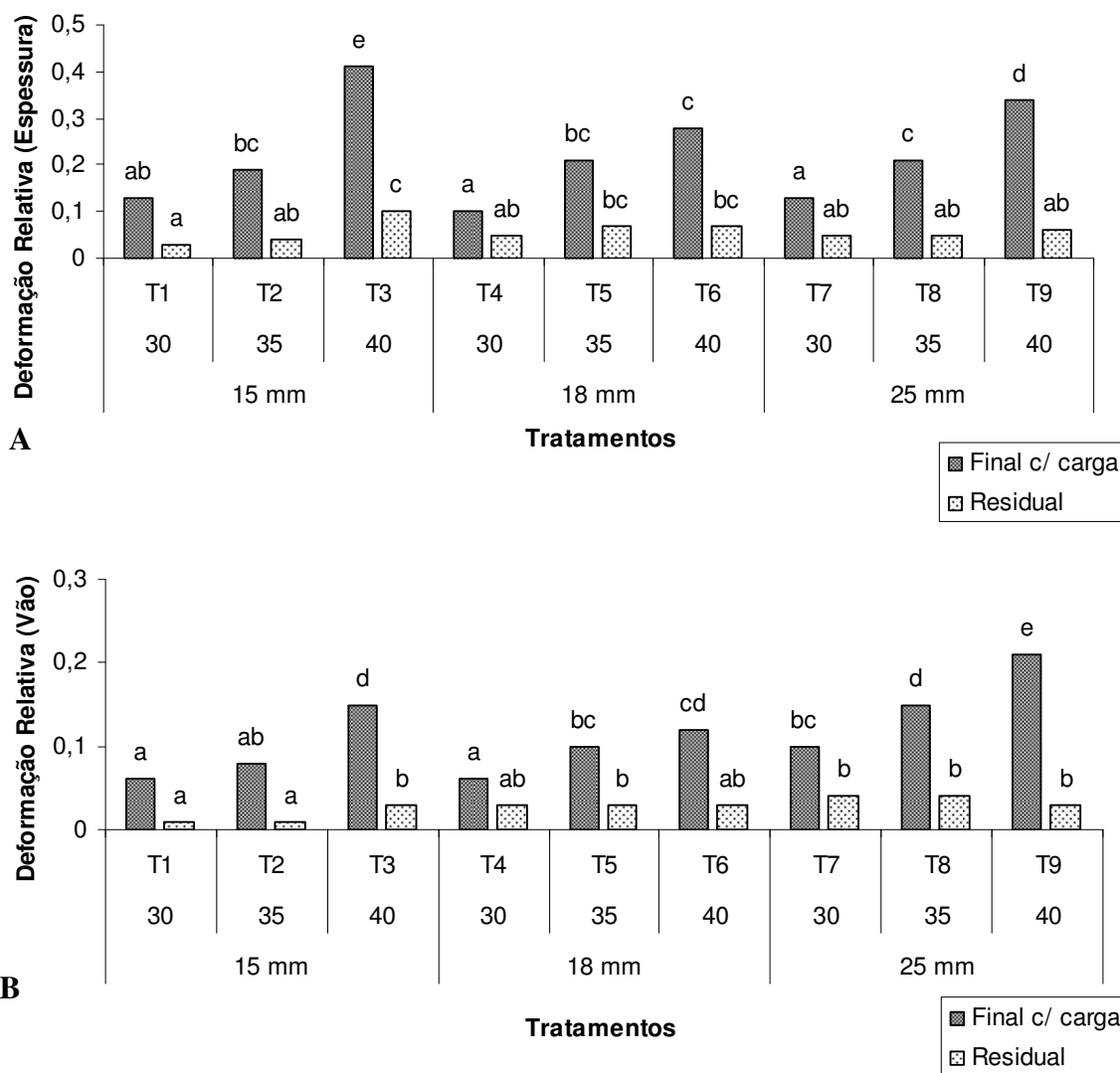


Figura 25. Valores médios da deformação final com carga e deformação residual relativos à espessura (A) e ao vão (B) nos tratamentos em MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

5.3.2. Efeito do vão

A Figura 26 mostra a média da deformação final e residual das espessuras (15 mm, 18 mm e 25 mm) em cada vão. As maiores médias das deformações finais ocorreram nos vão maiores, com relação L/h = 40. Isso demonstra que com o plano carregado o efeito do vão foi significativo, já que os vão menores apresentaram menor deformação, no entanto, na deformação residual apenas o painel de MDP com relação L/h=40 apresentou diferença significativa das demais no teste de Tukey.

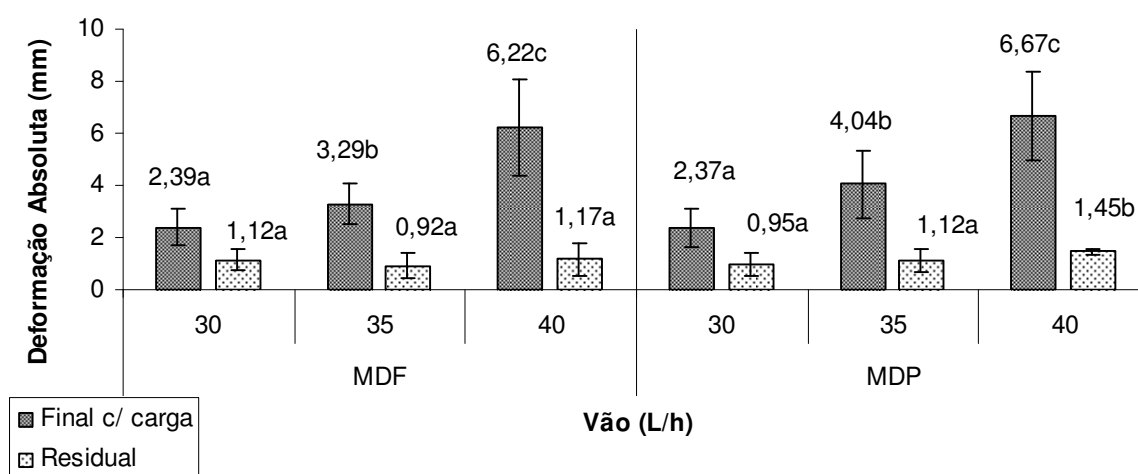


Figura 26. Média da deformação pelo vão (relação L/h) dos painéis dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

A avaliação do desempenho da deformação em relação às recomendações da norma NBR 13961(2003) estabelece que o cálculo da deformação recomendável de uma superfície horizontal de carregamento é 0,5% da distancia entre os apoios com o plano carregado e após a remoção da carga, ou seja, a deformação residual admitida é de 0,1% da distância entre os apoios. Isso pressupõe que em vãos maiores são esperadas maiores deformações, ou seja, num vão de 1000 mm a deformação com carga permitida seria de 5,0 mm e residual de 1,0 mm, enquanto num vão de 500 mm as deformações permitidas pela norma seriam de 2,5 mm e 0,5 mm respectivamente.

A Figura 27 mostra a comparação entre o desempenho dos painéis estudados e os valores de referência calculados com base nos vãos utilizados nos ensaios (Apêndices C e D). Pode-se observar que na deformação final com carga na relação L/h =30, independentemente da espessura dos painéis, a deformação ficou mais próxima dos valores de referência da norma ABNT NBR 13961(2003), nas demais relações L/h a deformação dos painéis tendeu a ser maior do que a recomendada pela norma.

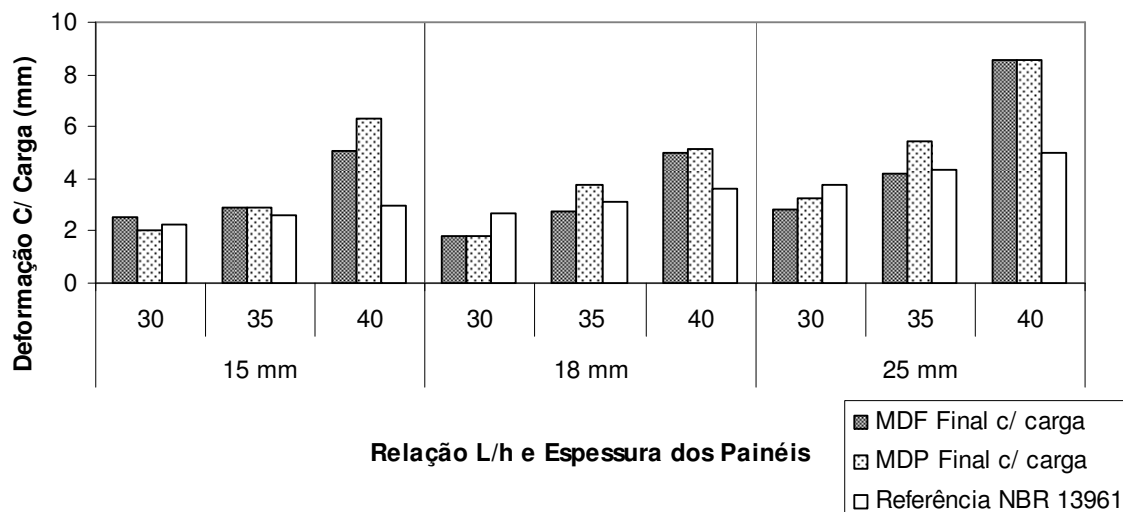


Figura 27. Comparação entre a deformação final com carga dos painéis e os valores de referência da norma NBR 13961(2003).

A deformação residual conforme a Figura 28 na maioria dos painéis não apresentou conformidade com os valores de referência da norma ABNT NBR 13961(2003), principalmente nos painéis de MDP. No MDF o painel de 18 mm na relação L/h = 35 e no painel de 25 nas relações L/h = 35 e L/h = 40 ficaram com a deformação residual de acordo com a norma, enquanto na relação L/h = 30 os painéis tiveram deformação acima da recomendação da norma.

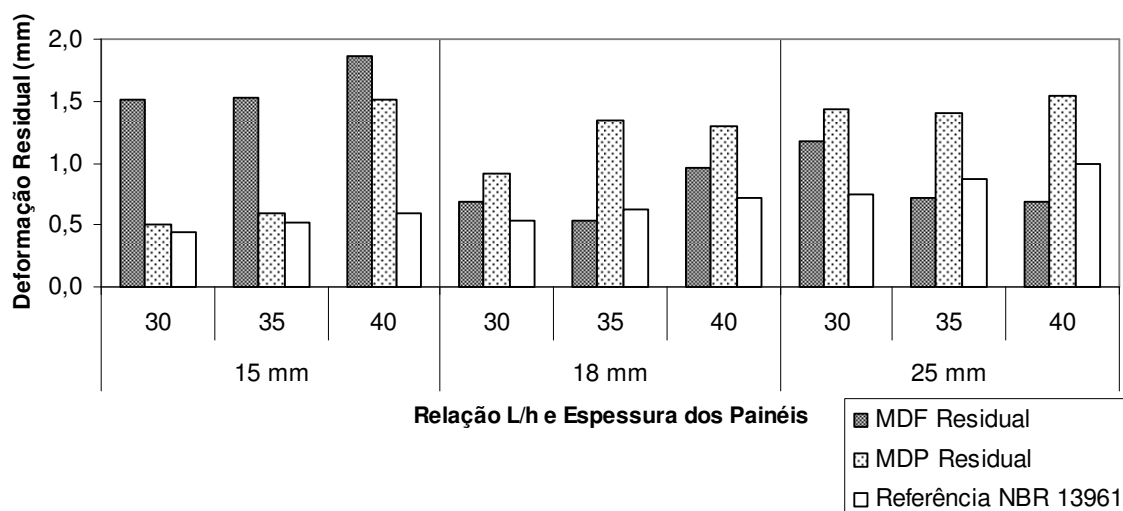


Figura 28. Comparação entre a deformação residual dos painéis e os valores de referência da norma NBR 13961(2003).

5.3.3. Efeito da espessura

Analisando-se o efeito da espessura pode-se observar que a maior média da deformação final com carga ocorreu nos painéis com 25 mm de espessura, no entanto a maior média da deformação residual ocorreu nos painéis de MDF com 15 mm de espessura, como mostra a Figura 29. Deve-se considerar, no entanto, que os CPs de 25 mm também possuíam os maiores vãos, apesar de terem a mesma relação L/h.

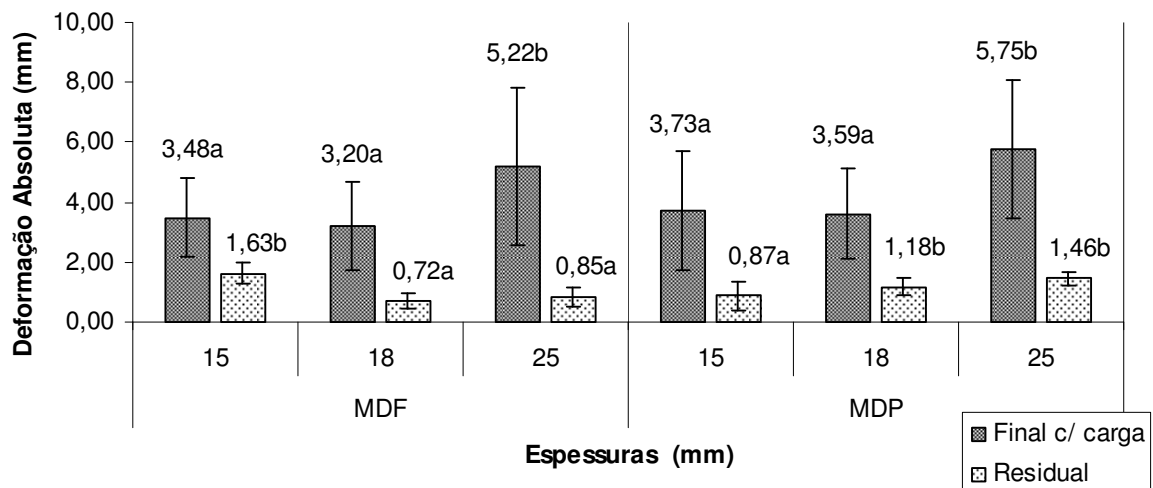


Figura 29. Média geral da deformação por espessura dentro CPs de MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

Nos valores relativos, ou seja, valores absolutos de deformação divididos pela espessura dos painéis (Equações 3 e 4) apresentados na Figura 30, pode-se observar que ocorreu uma maior deformação final com carga nos painéis de MDP com 15 mm e de 25 mm e nos painéis de MDF de 15mm de espessura. No entanto a maior deformação residual observou-se nos painéis de MDF com 15 mm de espessura, sendo que os demais painéis não apresentaram diferença significativa entre eles.

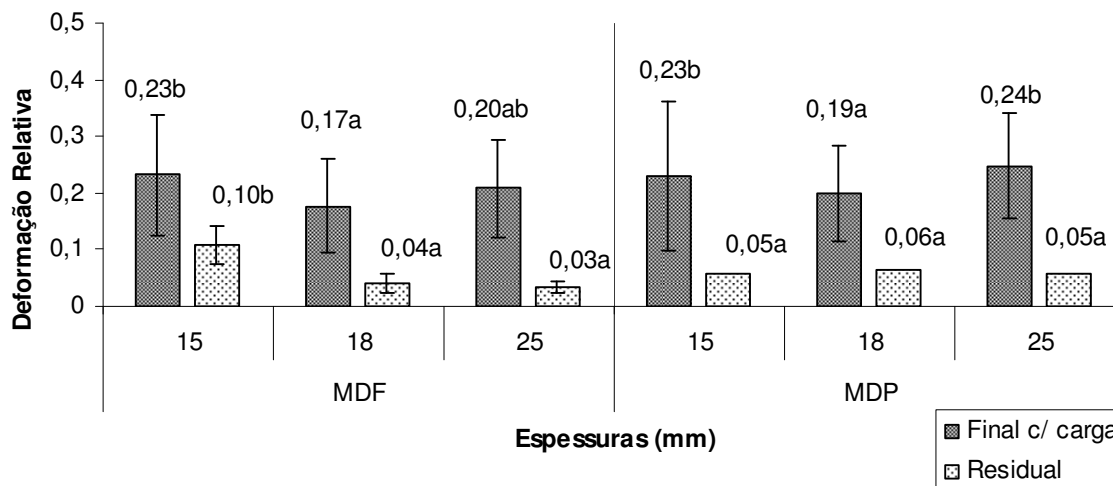


Figura 30. Valores relativos da deformação final c/ carga e residual geral por espessura dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

A ANOVA fatorial do experimento apontou que o efeito da espessura apresentou resultados significativos, na deformação final com carga, na residual por espessura e na interação entre as variáveis dependentes: espessura e vão.

5.3.4. Efeito do vão em cada espessura estudada

A Figura 31, A, B e C apresenta o resultado da deformação relativa na interação entre o vão e as espessuras em MDF e MDP. Em “A”, “B” e “C” pode-se observar que as deformações foram proporcionais ao vão nas três espessuras, ou seja que os vão $L/h = 40$ tiveram a maior deformação final com carga. Já na deformação residual apenas nos painéis de MDF com vão $L/h = 40$ em “A” e os painéis de MDP com vão $L/h = 40$ em “C” foram apresentaram diferenças significativas. Nos demais vãos a deformação residual foi considerada estaticamente igual.

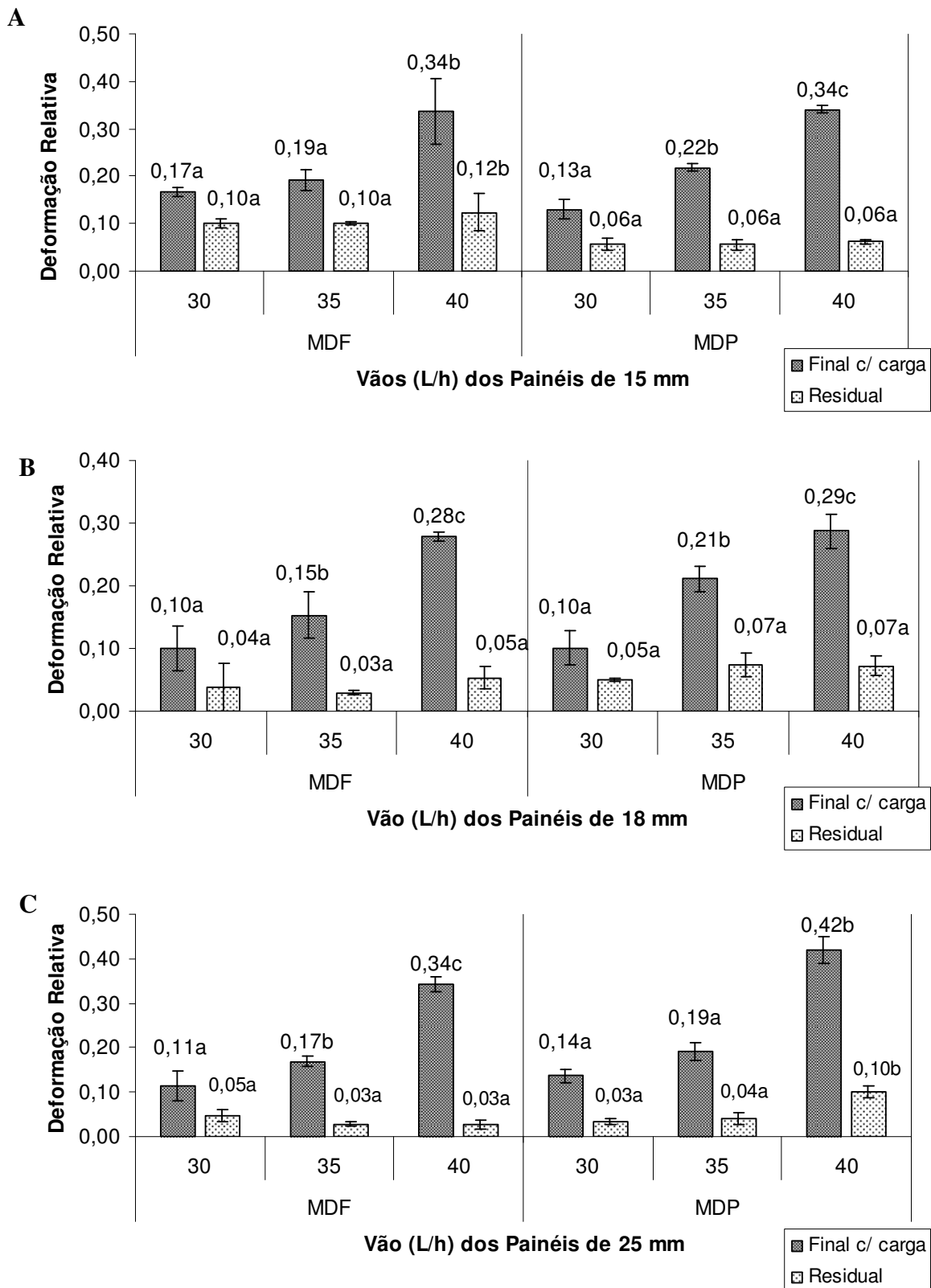


Figura 31. Valores relativos das deformações final c/ carga e residual por espessura dentre MDF e MDP. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

A ANOVA fatorial (Apêndice E) apontou que o efeito do vão e o efeito da espessura tiveram valores significativos, assim como a interação entre o vão e a espessura

na deformação final com carga. No entanto na deformação residual não houve diferenças significativas.

5.3.5. Comparação entre MDF e MDP

Na comparação das médias dos valores relativos da deformação final com carga e da deformação residual em relação ao efeito vão (Figura 32) e efeito da espessura, observa-se, que houve diferenças significativas entre os painéis de MDF e de MDP na deformação final com carga, no entanto na deformação residual os valores encontrados foram considerados estatisticamente iguais. De acordo com a norma NBR 13961(2003), nos ensaios de flexão de superfícies planas horizontais, ou seja, prateleiras, tanto os valores da deformação com carga como da deformação residual são considerados na avaliação dos resultados para considerá-lo em conformidade com as normas. Os resultados tanto do MDF quanto do MDP estavam acima das recomendações da norma, conforme apresentado anteriormente na Figura 27. Na deformação residual, da mesma forma, ambos os painéis apresentaram desempenho aquém do recomendado pela norma.

No uso prático pode-se considerar que a deformação com carga está em nível de regime elástico, porque os painéis apresentaram valores de deformação abaixo do limite proporcional (Figura 17), portanto existe possibilidade de recuperação do material. Como segundo Bodig (1993) não existe material perfeitamente elástico ocorreu uma deformação residual, que é uma deformação plástica, ou seja, o material não possui mais a capacidade de voltar a sua forma original, baseando-se nisso pode-se considerar que tanto o MDF como o MDP seriam um materiais indicados para o uso em prateleiras.

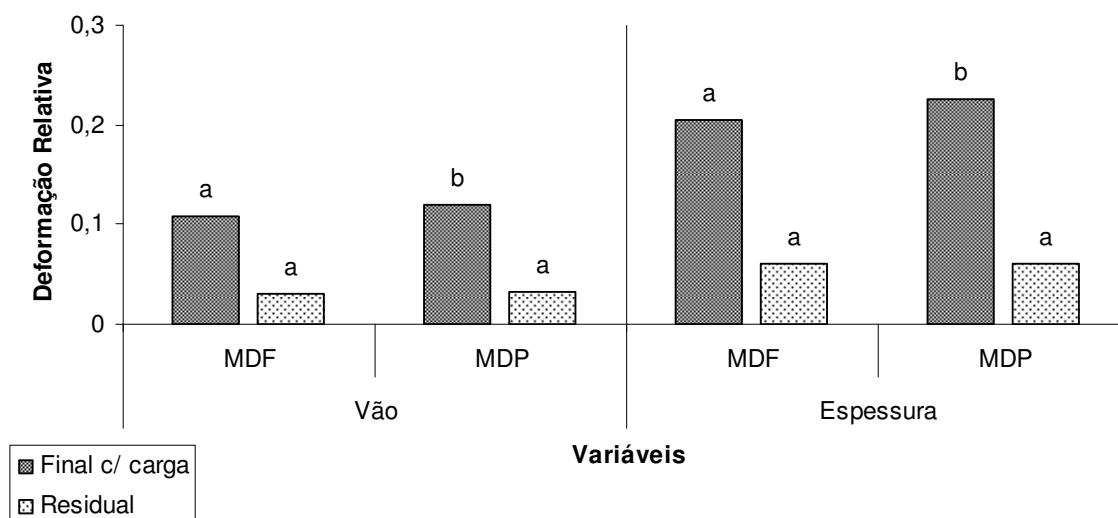


Figura 32. Comparação das deformações relativas entre MDF e MDP. Efeito do Vão, e da Espessura. Letras distintas significam diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de significância.

5.4. COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS COM A FLEXÃO DOS PAINÉIS DE MDF E MDP.

Comparando-se os resultados dos ensaios de flexão estática com os resultados dos ensaios de flexão pode-se observar uma relação inversa entre as médias do MOR e do MOE e os resultados das deformações. A Tabela 11 mostra que na espessura de 18 mm, onde ocorreram valores mais altos (\uparrow) de MOR e MOE, também as ocorreram baixos valores de deformações final com carga (\downarrow). O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros que dão uma estimativa de resistência do material, embora o módulo de elasticidade não ofereça informações completas e reais sobre o seu comportamento, pode-se deduzir que valores altos de MOE indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material (Klock, 2000).

Tabela 7. Comparação do MOR e MOE com os valores relativos das médias das deformações.
Valores mais altos (↑),baixos mais valores (↓).

Painel	Espessura	Densidade	MOR	MOE	Deformação final c/ carga ¹	Deformação residual ²
MDF	15	↑	↓	↓	↑	↑
	18	↑	↑	↑	↓	↓
	25	↓	↓	↓	↑	↓
MDP	15	↓	↓	↓	↑	↓
	18	↑	↑	↑	↓	↓
	25	↑	↑	↑	↑	↓

¹ Deformação relativa dos valores final c/carga divididos pela espessura dos painéis.

² Deformação relativa dos valores residual divididos pela espessura dos painéis

6. CONCLUSÃO

Pelos resultados dos ensaios e pelas análises apresentadas, levando-se em consideração o efeito do vão e da espessura, pode-se concluir que:

- Vãos menores possuem melhor desempenho na flexão, pois independente da espessura utilizada os valores da deformação foram menores que aqueles observados em vãos maiores, portanto entre os vãos avaliados a melhor relação encontrada foi $L/h=30$.

Avaliando a relação encontrada entre as propriedades dos painéis nos ensaios de flexão estática e os resultados das deformações nos ensaios de flexão, conclui-se:

- Painéis com maiores valores de MOE foram mais resistentes à deformação, o que justifica o bom desempenho do painel de 18 mm tanto de MDF como de MDP.
- A espessura de 18 mm apresentou resultados iguais ou em alguns momentos até mais satisfatório do que a de 25 mm, o que vem a confirmar a afirmação anterior de que o dimensionamento do vão é mais relevante do que a espessura utilizada.

Comparando-se o desempenho dos tipos de painéis utilizados, podemos afirmar que:

- Os resultados do MDF foram ligeiramente aos superiores do que o do MDP nas deformações com carga, no entanto na deformação residual ambos apresentaram resultados equivalentes.
- Ambos os painéis apresentaram deformação final com carga acima da recomendação da norma ABNT NBR 13961(2003), com exceção dos painéis de MDF de 18 mm e 25 mm com relação L/h 30 e 35 e MDP de 18 mm e 25 mm com relação L/h de 30. Na deformação residual, a maioria dos painéis também apresentou não conformidade à norma, com exceção do MDF de 18 mm e 25 mm na relação L/h 35.

Deve-se, portanto ressaltar que no desenvolvimento de projeto de móveis que possuem superfícies horizontais de carregamento:

- O dimensionamento do vão é o requisito mais importante para se obter produtos mais resistentes à deformação.
- Tanto os painéis de MDF quanto os de MDP em qualquer das espessuras utilizadas nesse trabalho são recomendados para esse fim, quando utilizados numa relação L/h de 30 ou até 35.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7190:1997 – Projetos de estruturas de madeira

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13961:2003 – Móveis para escritório – Armários

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14111:1998 – Móveis para escritório – Mesas – Ensaios de estabilidade, resistência e durabilidade

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM D1037-93:1995 Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials.

Araújo, M. D., Tecnologia do Vestuário, Lisboa, FCG, 1996.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (1999) Painéis de Madeira Aglomerada Publicação Setorial: Produtos Florestais. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/is_g1_19.pdf . Acessado em: 20/05/2006.

Benson R., J. R. Host. (1968). Factors That Affect The Choice of Shelving Materials in Single Family Homes. USDA Forest Service. Research Note INT-83.

Bird, R.B., Armstrong, R.C., Hassager, O., (1987). Dynamics Of Polymeric Liquids. John Willey, New york.

Bodig, J., Jayne, B.A., (1993). Mechanics of Wood And Wood Products. Krieger Publishing Co., Malabar.

Bonsiepe, G., (1997). Design, do material ao digital. FIESC/IEL, Florianópolis.

BS EN 300:1997 Oriented strand boards (OSB). Definitions, classification and specifications.

BS EN 622, Parte 1 – General requirements for all fibreboards e Parte 5 – Requirements for dry process boards (MDF)

BS EN 13986 – Wood-based Panels for Use in Construction – Characteristics, Evaluation of Conformity and Markings

BS EN 312:2003 – Particleboards. Specifications

Composite Panel Association, 2003 Particleboard and MDF for Shelving. Quebec, Canadá.

Dallastra, M., (2005) Análise do Comportamento Viscoelástico de Compósito Plástico-Madeira por Resistência à Fluência. UTFPR.

- Denizli-Tankut, Nurgul ; Tankut, Ali ; Eckelman, C. ; Gibson, H., (2003), Improving The Deflection Characteristics of Shelves and Side Walls in Panel-based Cabinet Furniture. Forest Products Journal.
- Duratex S.A. Disponível em: <http://www.duratex-madeira.com.br/Duratex>
- Eleotério, R. J. (2000) Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis de MDF de Diferentes Densidades e Teores de Resina. USP, Piracicaba.
- Eleotério, R. J. (2004) Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis de MDF. USP, Piracicaba. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php. Acessado em: 09/02/2008.
- Frihart, C. R. (2005) Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Part III, Chapter 9, CRC Press New York.
- Fung, Y.C., (1969) A First Course in Continuum Mechanics. Prentice-Hall Inc.
- Green D. W., et al (2002) cap 4., Mechanical Properties of Wood, U.S.DA. (1987) Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Washington, Dc. Agriculture Handbook, U.S. Government Printing Office.
- Iwakiri, S.; Nielsen, I.R.; Alberti A. R. Avaliação da Influência de Diferentes Composições de Lâminas em Compensados Estruturais de Pinus Elliottii E Eucalyptus Saligna. Lavras: Revista Cerne, V.6, N.2, 2000
- Jodin, P., (1994) Le Bois Materiau D'ingénierie. Arbolor, Nancy.
- Klock, U. Qualidade da madeira juvenil de Pinus maximinoi H. E. Moore. 2000. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- Larson, P. R. et al. Formation and properties of juvenile wood in southern pines – a synopsis. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2001. FPL Reporter
- Laufenberg, T. L.; Palka, L.C.; McNatt, J. Dobbin, (1999) Creep and Creep-Rupture Behavior of Wood-Based Structural Panels. Usda Forest Service. Res. Pap. Fpl-Rp-574.
- Loferski, J. R. In: Smulski, S.,(1997) Engineered wood products: A guide for specifiers, designers and users. Madison, WI: PFS Research Foundation.
- Madsen, B., (1992) Structural Behaviour of Timber. Timber Engineering Ltd., British Columbia, Canadá.
- Maloney, T. M., (1993) Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing, San Francisco: Miller Freeman.

- Mattos, R. L. G., Gonçalves, R. M., Chagas, F. B. (2008) Painés de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. Produtos Florestais, BNDES, Rio de Janeiro, RJ.
- Miranda, A. C. O., (2003) Propagação de Trincas por Fadiga em Geometrias 2D Complexas sob Cargas Cíclicas Variáveis. PUC, Rio de Janeiro.
- MSPC Informações Técnicas. Resistência dos Materiais. Disponível em : <http://www.mspc.eng.br/matr/resmat0160.shtml>. Acessado em: 07/07/2008.
- Moreschi, J. C., (2005) Propriedades Tecnológicas da Madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR ,
- Motta, L. M. G., Tonial, I., Leite, L. F., et al., (1996), Princípios do Projeto e Análise Superpave de Misturas Asfálticas. Petrobrás, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Panelguide, (2004) Wood Panel Industries Federation – WPIF. Disponível em: <http://www.wpif.org.uk/panelguide.asp> . Acessado em: 05/03/2006.
- Pazetto V. F., SBRT – Dossiê Técnico n.18: Normas, ensaios e testes de controle da qualidade em móveis. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/upload/dossies/sbrt-dossie18.pdf>. Acessado em: 03/06/2007
- PERUZZI, J. T., (1998). Manual sobre a importância do design no desenvolvimento de produtos. Bento Gonçalves, SENAI/CETEMO/SEBRAE.
- Revista da Madeira.(2006) MDP – Nova tendência na fabricação de chapas. Ano 16, N.100, Disponível em:http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=100&id=978 Acessado em: 03/04/2007
- Rosa, S. E. S. et al (2007), O Setor de Móveis na Atualidade: Uma Análise Preliminar. Boletim – Móveis. BNDES, Rio de Janeiro, RJ.
- Santini,E.; Berger, R.; Eleotério,J.R.; Schereen, L.; Haselein, C.R. ,(2001) Resistência à Flexão Estática de Alguns Painéis Aglomerados Comercializados no Rio Grande do Sul. Santa Maria: Ciência Florestal, V.11, N.1, P.195-200
- Scanavaca Jr., L., Garcia, J. N., (2003) Rendimento Em Madeira Serrada de Eucalyptus Urophylla. Scientia Forestalis”, N. 63, P. 32-43.
- Sexton, T. (2007), “What You Must Know About Shelving. Popular Woodworking. Disponível em: http://www.popularwoodworking.com/article/What_You_Must_Know_About_Shelving/
- Suchsland O., Woodson G. E. (1987) Fiberboard Manufacturing Practices in the United States. USDA Forest Service, Washington, DC.
- Tsoumis G. (1991) Science and Technology of Wood. Van Nostrand Reinhold, New York.

Uchimura M. S. (2006), SBRT – Resposta Técnica n. 2699. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt2699.pdf> /. Acessado em: 28/04/07.

Universidade de Brasília, Glossário Geológico Ilustrado, Winge M. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/glossario/>. Acessado em: 16/05/2007

USDA (1961) Wood L. W., Relation of Strength of Wood to Duration of Load. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.

Vilar W., (2004) Química e Tecnologia dos Poliuretanos. Disponível em: <http://www.poliuretanos.com.br/Cap8/8125Compressao.htm>. Acessado em: 26/04/2007

Youngquist J. A., cap.10. Green D. W., Winandy J. E. e Kretschmann D. E., cap. 4. U.S.DA. (1987) Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Washington, Dc. Agriculture Handbook No. 72, U.S. Government Printing Office:

APÊNDICES

A - DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE DE MDF E DE MDP

Painel	CP	Espessura dos CPs	Densidade (g/cm ³)	Teor de umidade (%)
MDF	1	15 mm	0,69	8,6
	2		0,70	8,4
	3		0,69	8,7
	4		0,69	8,6
	5	18 mm	0,67	8,4
	6		0,68	8,5
	7		0,67	8,9
	8		0,68	8,4
	9	25 mm	0,65	9,5
	10		0,64	9,3
	11		0,65	9,2
	12		0,64	9,3
MDP	13	15 mm	0,58	10,3
	14		0,58	10,1
	15		0,59	10,5
	16		0,58	10,5
	17	18 mm	0,62	10,0
	18		0,63	10,3
	19		0,63	10,0
	20		0,63	10,0
	21	25 mm	0,61	10,6
	22		0,61	10,4
	23		0,61	10,4
	24		0,61	10,5

B - PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA EM MDF E MDP

Painel	CP	Espessura dos CPs (mm)	Carga no limite proporcional (N)	Deformação no limite proporcional (cm)	Carga máxima (N)	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)
MDF	1	15 mm	647	0,95	1118	3002	34,79
	2		628	0,89	1128	2999	33,62
	3		657	0,94	1147	2916	33,92
	4		647	0,95	1128	2908	33,75
	5	18 mm	990	1,26	1638	3296	40,20
	6		902	1,15	1579	3363	39,49
	7		902	1,14	1540	3382	38,40
	8		922	1,15	1667	3388	41,29
	9	25 mm	1177	1,69	1893	2931	33,74
	10		1187	1,87	1863	2735	33,72
	11		1167	1,75	1873	2887	34,02
	12		1196	1,75	1902	2900	34,18
MDP	13	15 mm	373	0,67	496	2467	15,35
	14		363	0,66	468	2429	14,39
	15		402	0,72	510	2434	15,59
	16		412	0,73	496	2472	15,31
	17	18 mm	549	0,82	743	2995	19,23
	18		539	0,77	709	3107	18,34
	19		559	0,83	720	3008	18,65
	20		579	0,83	746	3110	19,29
	21	25 mm	735	1,09	1054	2901	19,10
	22		725	1,04	983	3057	18,16
	23		657	0,89	1072	3171	19,52
	24		715	1,01	1051	3046	19,12

C - DADOS DOS CORPOS-DE-PROVA E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM MDF

CPs	Espessura (mm)	Tratamento	Relação L/h	Vão (mm)	Carga (kg)	Valor de referência c/ carga NBR 13961 (mm)	Deformação c/ carga Final (mm)	Valor de referência residual NBR 13961 (mm)	Deformação Residual (mm)
A1	15	T1	30	450	45,0	2,25	2,60	0,45	1,60
A2							2,60		1,60
A3							2,33		1,33
B1		T2	35	525	52,5	2,62	3,14	0,52	1,55
B2							3,00		1,53
B3							2,52		1,49
C1		T3	40	600	60,0	3,00	4,59	0,60	1,91
C2							6,24		2,42
C3							4,35		1,26
D1	T4	30	540	54,0	2,70	1,45	0,54	0,72	
D2						2,57		0,60	
D3						1,45		0,72	
E1	18	T5	35	630	63,0	3,15	2,00	0,63	0,40
E2							3,27		0,64
E3							3,00		0,55
F1	T6	40	720	72,0	3,60	5,17	0,72	1,05	
F2						4,97		0,60	
F3						4,92		1,24	
G1	T7	30	750	75,0	3,75	2,20	0,75	0,82	
G2						2,57		1,21	
G3						3,78		1,52	
H1	25	T8	35	875	87,5	4,37	4,17	0,87	0,82
H2							4,52		0,65
H3							4,00		0,65
I1	T9	40	1000	100,0	5,00	8,15	1,00	0,63	
I2						8,96		0,92	
I3						8,64		0,50	

D - DADOS DOS CORPOS-DE-PROVA E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM MDP

(CPs)	Espessura (mm)	Tratamento	Relação L/h	Vão (mm)	Carga (kg)	Valor de referência c/ carga NBR 13961 (mm)	Deformação c/ carga – Final (mm)	Valor de referência residual NBR 13961 (mm)	Deformação s/ carga – Residual (mm)
J1	15	T1	30	450	45,0	2,25	2,26	0,45	0,55
J2							1,81		0,39
J3							2,04		0,60
K1	15	T2	35	525	52,5	2,62	2,71	0,52	0,57
K2							3,24		0,82
K3							2,65		0,40
L1	15	T3	40	600	60,0	3,00	5,78	0,60	1,30
L2							6,65		1,72
L3							6,45		1,50
M1	15	T4	30	540	54,0	2,70	1,90	0,54	0,84
M2							1,30		0,96
M3							2,25		0,93
N1	18	T5	35	630	63,0	3,15	4,20	0,63	1,40
N2							3,51		1,65
N3							3,69		0,98
P1	18	T4	40	720	72,0	3,60	5,68	0,72	1,17
P2							5,08		1,62
P3							4,73		1,10
R1	18	T1	30	750	75,0	3,75	3,83	0,75	1,72
R2							2,85		1,50
R3							3,07		1,08
S1	25	T2	35	875	87,5	4,37	5,68	0,87	1,72
S2							5,44		1,31
S3							5,28		1,21
T1	25	T1	40	1000	100,0	5,00	8,65	1,00	1,39
T2							8,31		1,65
T3							8,68		1,59

E - ANÁLISE ESTATÍSTICA

MDF X MDP

Fonte	Variáveis Dependentes	Soma dos quadrados	DF	Média dos quadrados	F	Sig.
Modelo Correto	Final	221,243	17	13,014	54,576	,000
	Residual	9,237	17	,543	8,388	,000
	Esp-final	,472	17	,028	37,093	,000
	Esp-residual	,043	17	,003	12,314	,000
	Vão-final	,110	17	,006	31,579	,000
	Vão-residual	,007	17	,000	8,524	,000
Interação	Final	936,500	1	936,500	3927,291	,000
	Residual	68,007	1	68,007	1049,876	,000
	Esp-final	2,526	1	2,526	3376,465	,000
	Esp-residual	,201	1	,201	977,429	,000
	Vão-final	,705	1	,715	3485,766	,000
	Vão-residual	,056	1	,056	1111,296	,000
Painel	Final	2,065	1	2,065	8,660	,006
	Residual	,139	1	,139	2,146	,152
	Esp-final	,005	1	,005	7,138	,011
	Esp-residual	6,67E-007	1	6,67E-007	,003	,955
	Vão-final	,001	1	,001	7,232	,011
	Vão-residual	6,89E-005	1	6,89E-005	1,371	,249
Espessura	Final	16,101	2	8,050	33,760	,000
	Residual	4,961	2	2,480	38,292	,000
	Esp-final	,020	2	,010	13,678	,000
	Esp-residual	,014	2	,007	34,713	,000
	Vão-final	,013	2	,006	30,665	,000
	Vão-residual	,004	2	,002	41,723	,000
Vão	Final	155,256	2	77,628	325,541	,000
	Residual	,950	2	,475	7,332	,002
	Esp-final	,415	2	,208	277,394	,000
	Esp-residual	,004	2	,002	9,812	,000
	Vão-final	,063	2	,032	153,777	,000
	Vão-residual	,000	2	,000	2,815	,073
Painel* Espessura	Final	31,772	2	15,886	66,619	,000
	Residual	,938	2	469	7,239	,002
	Esp-final	,004	2	,002	2,683	,082
	Esp-residual	,017	2	,008	41,057	,000
	Vão-final	,024	2	,012	57,827	,000
	Vão-residual	,001	2	,000	8,255	,001
Painel* Vão	Final	1,390	2	,695	2,914	,067
	Residual	,520	2	,260	4,017	,027
	Esp-final	,004	2	,002	2,895	,068
	Esp-residual	,001	2	,001	3,577	,038
	Vão-final	,001	2	,001	2,797	,074
	Vão-residual	,000	2	,000	4,271	,022
Espessura * Vão	Final	7,534	4	1,883	7,898	,000
	Residual	,199	4	,050	,770	,552
	Esp-final	,018	4	,004	5,981	,001
	Esp-residual	,001	4	,000	,882	,484
	Vão-final	,005	4	,001	5,489	,001
	Vão-residual	,000	4	6,29E-005	1,250	,307
Painel	Final	7,125	4	1,781	7,469	,000
	Residual	1,530	4	,382	5,904	,001
	Esp-final	,005	4	,001	1,552	,208
	Esp-residual	,006	4	,001	6,871	,000
	Vão-final	,004	4	,001	4,382	,005
	Vão-residual	,001	4	,000	6,101	,001
Erro	Final	8,585	36	,238		
	Residual	2,332	36	,65		
	Esp-final	,027	36	,001		
	Esp-residual	,007	36	,000		
	Vão-final	,007	36	,000		
	Vão-residual	,002	36	5,03E-005		
Total	Final	1136,327	54			
	Residual	79,576	54			
	Esp-final	3,025	54			
	Esp-residual	,251	54			
	Vão-final	,832	54			
	Vão-residual	,065	54			
Total correto	Final	229,827	53			
	Residual	11,569	53			
	Esp-final	,499	53			
	Esp-residual	,050	53			
	Vão-final	,117	53			
	Vão-residual	,009	53			

MDF - Efeito dos Tratamentos

Fonte	Variáveis Dependentes	Soma dos quadrados	DF	Média dos quadrados	F	Sig.
Modelo Correto	Final	102,843	8	12,855	38,674	,000
	Residual	5,334	8	,667	8,960	,000
	Esp-final	,200	8	,025	23,735	,000
	Esp-residual	,034	8	,004	16,472	,000
	Vão-final	,050	8	,006	22,147	,000
	Vão-residual	,005	8	,001	10,342	,000
Interação	Final	425,306	1	425,306	1279,487	,000
	Residual	30,998	1	30,998	416,577	,000
	Esp-final	1,149	1	1,149	1091,163	,000
	Esp-residual	,101	1	,101	395,702	,000
	Vão-final	,325	1	,325	1154,972	,000
	Vão-residual	,026	1	,026	469,708	,000
Tratamento	Final	102,843	8	12,855	38,674	,000
	Residual	5,334	8	,667	8,960	,000
	Esp-final	,200	8	,025	23,735	,000
	Esp-residual	,034	8	,004	16,472	,000
	Vão-final	,050	8	,006	22,147	,000
	Vão-residual	,005	8	,001	10,342	,000
Erro	Final	,5983	18	,332		
	Residual	1,339	18	,074		
	Esp-final	,019	18	,001		
	Esp-residual	,005	18	,000		
	Vão-final	,005	18	,000		
	Vão-residual	,001	18	,5,53E-005		
Total	Final	534,132	27			
	Residual	37,671	27			
	Esp-final	1,368	27			
	Esp-residual	,139	27			
	Vão-final	,380	27			
	Vão-residual	,032	27			
Total corrigido	Final	108,826	26			
	Residual	6,673	26			
	Esp-final	,219	26			
	Esp-residual	,038	26			
	Vão-final	,055	26			
	Vão-residual	,006	26			

MDP - Efeito dos Tratamentos

Fonte	Variáveis Dependentes	Soma dos quadrados	DF	Média dos quadrados	F	Sig.
Modelo Correto	Final	116,335	8	14,542	100,625	,000
	Residual	3,764	8	,471	8,534	,000
	Esp-final	,267	8	,033	75,133	,000
	Esp-residual	,010	8	,001	7,641	,000
	Vão-final	,059	8	,007	57,802	,000
	Vão-residual	,003	8	,000	7,385	,000
Interação	Final	513,259	1	513,259	3551,603	,000
	Residual	37,148	1	37,148	673,689	,000
	Esp-final	1,382	1	1,382	3114,162	,000
	Esp-residual	,100	1	,100	642,133	,000
	Vão-final	,391	1	,391	3079,248	,000
	Vão-residual	,030	1	,030	664,639	,000
Tatamento	Final	116,335	8	14,542	100,625	,000
	Residual	3,764	8	,471	8,534	,000
	Esp-final	,267	8	,033	75,133	,000
	Esp-residual	,010	8	,001	7,641	,000
	Vão-final	,059	8	,007	57,802	,000
	Vão-residual	,003	8	,000	7,385	,000
Erro	Final	2,601	18	,145		
	Residual	,993	18	,055		
	Esp-final	,008	18	,000		
	Esp-residual	,003	18	,000		
	Vão-final	,002	18	,000		
	Vão-residual	,001	18	4,50E-055		
Total	Final	632,195	27			
	Residual	41,905	27			
	Esp-final	1,656	27			
	Esp-residual	,112	27			
	Vão-final	,452	27			
	Vão-residual	,033	27			
Total corrigido	Final	118,936	26			
	Residual	4,757	26			
	Esp-final	,275	26			
	Esp-residual	,012	26			
	Vão-final	,061	26			
	Vão-residual	,003	26			

Fatorial MDF

Fonte	Variáveis Dependentes	Soma dos quadrados	DF	Média dos quadrados	F	Sig.
Modelo Correto	Final	102,843	8	12,855	38,674	,000
	Residual	5,334	8	,667	8,960	,000
	Esp-final	,200	8	,025	23,735	,000
	Esp-residual	,034	8	,004	16,472	,000
	Vão-final	,050	8	,006	22,147	,000
	Vão-residual	,005	8	,001	10,342	,000
Interação	Final	425,306	1	425,306	1279,487	,000
	Residual	30,998	1	30,998	416,577	,000
	Esp-final	1,149	1	1,149	1091,163	,000
	Esp-residual	,101	1	,101	395,702	,000
	Vão-final	,325	1	,325	1154,972	,000
	Vão-residual	,026	1	,026	469,708	,000
Espessura	Final	21,536	2	10,768	32,394	,000
	Residual	4,325	2	2,162	29,060	,000
	Esp-final	,013	2	,007	6,406	,008
	Esp-residual	0,31	2	,015	60,535	,000
	Vão-final	,016	2	,008	27,862	,000
	Vão-residual	,003	2	,002	31,517	,000
Vão	Final	72,097	2	36,048	108,448	,000
	Residual	,319	2	,160	2,144	,146
	Esp-final	,183	2	,091	86,721	,000
	Esp-residual	,001	2	,001	2,075	,155
	Vão-final	,029	2	,015	51,721	,000
	Vão-residual	,001	2	,000	5,480	,014
Espessura * Vão	Final	9,210	4	2,303	6,927	,001
	Residual	,690	4	,172	2,318	,097
	Esp-final	,004	4	,001	,906	,481
	Esp-residual	,002	4	,000	1,640	,208
	Vão-final	,005	4	,001	4,503	,011
	Vão-residual	,000	4	,000	2,185	,112
Erro	Final	5,983	18	,332		
	Residual	1,339	18	,074		
	Esp-final	,019	18	,001		
	Esp-residual	,005	18	,000		
	Vão-final	,005	18	,000		
	Vão-residual	001	18	5,53E-005		
Total	Final	534,132	27			
	Residual	37,671	27			
	Esp-final	1,368	27			
	Esp-residual	,139	27			
	Vão-final	,380	27			
	Vão-residual	,032	27			
Total correto	Final	108,826	26			
	Residual	6,673	26			
	Esp-final	,219	26			
	Esp-residual	,038	26			
	Vão-final	,055	26			
	Vão-residual	,006	26			

Fatorial MDF

Fonte	Variáveis Dependentes	Soma dos quadrados	DF	Média dos quadrados	F	Sig.
Modelo Correto	Final	116,335	8	14,542	100,625	,000
	Residual	3,764	8	,471	8,534	,000
	Esp-final	,267	8	,033	75,133	,000
	Esp-residual	,010	8	,001	7,641	,000
	Vão-final	,059	8	,007	57,802	,000
	Vão-residual	,003	8	,000	7,358	,000
Interação	Final	513,259	1	513,259	3551,603	,000
	Residual	37,148	1	37,148	673,689	,000
	Esp-final	1,382	1	1,382	3114,162	,000
	Esp-residual	,100	1	,100	642,133	,000
	Vão-final	,391	1	,391	3079,248	,000
	Vão-residual	,030	1	,030	664,639	,000
Espessura	Final	26,337	2	13,169	91,123	,000
	Residual	1,574	2	,787	14,271	,000
	Esp-final	,011	2	,006	12,516	,000
	Esp-residual	,000	2	,000	1,036	,375
	Vão-final	,021	2	,010	81,237	,000
	Vão-residual	,002	2	,001	16,826	,000
Vão	Final	84,549	2	42,275	292,528	,000
	Residual	1,151	2	,576	10,438	,001
	Esp-final	,237	2	,118	266,922	,000
	Esp-residual	,004	2	,002	14,327	,000
	Vão-final	,035	2	,018	138,223	,000
	Vão-residual	,000	2	6,69E-005	1,486	,253
Espessura * Vão	Final	5,448	4	1,362	9,425	,000
	Residual	1,039	4	,260	4,713	,009
	Esp-final	,019	4	,005	10,548	,000
	Esp-residual	,005	4	,001	7,600	,001
	Vão-final	,003	4	,001	5,875	,003
	Vão-residual	,001	4	,000	5,559	,004
Erro	Final	2,601	18	,145		
	Residual	,993	18	,055		
	Esp-final	,008	18	,000		
	Esp-residual	,003	18	,000		
	Vão-final	,002	18	,000		
	Vão-residual	,001	18	4,50E-005		
Total	Final	632,195	27			
	Residual	41,905	27			
	Esp-final	1,656	27			
	Esp-residual	,112	27			
	Vão-final	,452	27			
	Vão-residual	,033	27			
Total correto	Final	118,936	26			
	Residual	4,757	26			
	Esp-final	,275	26			
	Esp-residual	,012	26			
	Vão-final	,061	26			
	Vão-residual	,003	26			