

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

IGOR ALVES BELONE

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINEL DE  
MDP PRODUZIDO COM MADEIRA DE EUCALIPTO E  
BRACATINGA**

Itapeva - SP  
2010

IGOR ALVES BELONE

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINEL DE  
MDP PRODUZIDO COM MADEIRA DE EUCALIPTO E  
BRACATINGA**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cristiane Inácio de Campos

Itapeva - SP  
2010

B452c Belone, Igor Alves.  
Caracterização Físico-Mecânica de Painel de MDP Produzido com madeira de Eucalipto e Bracatinga / Igor Alves Belone. – – Itapeva, 2010  
78 f.: il.

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2010.  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Inácio de Campos.  
Banca examinadora: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves; Prof. MsC. Fernando de Lima Caneppele.  
Inclui bibliografia

1. Painéis de madeira. 2. Eucalipto. 3. Bracatinga. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 674.83

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINEL DE  
MDP PRODUZIDO COM MADEIRA DE EUCALIPTO E  
BRACATINGA**

IGOR ALVES BELONE

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi  
Coordenador de Curso

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Inácio de Campos  
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. MsC. Fernando de Lima Caneppele  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

## RESUMO

O presente trabalho consiste na produção de painéis de partículas reconstituídas de MDP (Medium Density Particleboard) acrescentando na camada interna partículas de *Mimosa Scarelli*, conhecida popularmente como bracatinga, nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. O painel produzido é composto por três camadas, sendo duas externas com partículas de granulometrias menores e uma camada interna composta de partículas de granulometrias maiores. Foram realizados ensaios físicos e mecânicos baseados na norma NBR 14.810/2006 para a determinação da densidade do painel, inchamento em espessura, absorção de água, teor de umidade, flexão estática, tração paralela e umidade residual, além do ensaio de granulometria das partículas não existente na norma citada. Os resultados obtidos foram analisados e comparados aos resultados dos painéis comerciais produzidos com 100% de eucalipto, com base nos limites especificados pela norma ABNT NBR 14.810/2006. Os valores dos ensaios apresentaram próximos das especificações normativas indicando de forma positiva a produção de MDP com a madeira de bracatinga.

**PALAVRAS-CHAVES:** Painéis de madeira. Aglomerado. Eucalipto. Bracatinga. Aplicação industrial.

## ABSTRACT

This work is the production of particleboard of particles reconstituted from MDP (Medium Density Particleboard) adding particles in the inner layer of *Mimosa Scarelli*, popularly known as bracinga, the ratios of 0%, 25%, 50%, 75% and 100%. The panel produced is composed of three layers, two external particles with smaller particle size and an inner layer composed of particles of larger particle sizes. Assays were performed based on physical and mechanical NBR 14.810/2006 for the determination of the board density, thickness swelling, water absorption, moisture content, bending strength, shear strength and residual moisture, and testing of particle size not existing in the standard cited. The results were analyzed and compared the results of the commercial boards made from 100% eucalyptus, based on the limits specified by the ABNT NBR 14.810/2006. The values of the tests were close to the normative specifications indicating positively the production of MDP with wood decay.

**Keywords:** Wood panels. Particleboard. Eucalyptus. Bracinga. Industrial application.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Principais países produtores de painel MDP em 2009 .....	15
FIGURA 2 – Valores de consumo per capita de painel MDP nos principais países consumidores em 2006 .....	16
FIGURA 3 – Valores de consumo per capita de painel MDP nos principais países consumidores em 2009 .....	17
FIGURA 4 – Localização dos principais fabricantes brasileiros de painéis de madeira reconstituída.....	18
FIGURA 5 – Evolutivo de preços dos principais painéis ao longo dos últimos anos .....	19
FIGURA 6 – Aplicação doméstica do painel MDP no Brasil .....	20
FIGURA 7 – Processo produtivo de painéis MDP/aglomerada.....	23
FIGURA 8 – Árvore de bracatinga.....	32
FIGURA 9 – Amostras de bracatinga cortadas para posterior picagem .....	39
FIGURA 10 – Processamento da bracatinga em cavacos.....	39
FIGURA 11 – Moinho do tipo martelo para processamento de madeira.....	40
FIGURA 12 – Equipamento de análise de teor de umidade .....	41
FIGURA 13 – Recipiente de alumínio com cavaco de bracatinga dentro da estufa.....	41
FIGURA 14 – Equipamento para análise do teor de umidade .....	42
FIGURA 15 – Cavacos de eucalipto e bracatinga da camada interna .....	43
FIGURA 16 – Processo de encolagem das partículas.....	43
FIGURA 17 – Teste “Gel Time” .....	45
FIGURA 18 – Adesivo sendo aplicado nas partículas pelo aspersor na encoladeira .....	45
FIGURA 19 – Formação da camada externa do painel de MDP .....	46
FIGURA 20 – Formação da CI .....	47
FIGURA 21 – Tampa de madeira compactando o colchão.....	47
FIGURA 22 – Colchão após a aplicação da força perpendicular (pré-prensagem) .....	48
FIGURA 23 – Vista lateral do colchão de partículas.....	48
FIGURA 24 – Prensa utilizada para a fabricação dos painéis de amostra.....	49

FIGURA 25 – Colchão com as barras laterais sendo levado à prensa .....	49
FIGURA 26 – Fechamento completo da prensa (15 mm).....	50
FIGURA 27 – Distribuição dos cortes feitos no painel .....	52
FIGURA 28 – Amostras utilizadas nos ensaios .....	52
FIGURA 29 – Paquímetro digital utilizado nos teste para medir as dimensões das amostras .....	54
FIGURA 30 – Máquina universal de ensaios – marca EMIC .....	55
FIGURA 31 – Ensaio de tração perpendicular.....	56
FIGURA 32 – Ensaio de flexão estática realizado para a determinação do módulo de elasticidade e ruptura .....	57
FIGURA 33 – Medição com micrômetro do corpo-de-prova de inchamento.....	58
FIGURA 34 – Pontos da superfície da chapa adotados para a determinação da espessura .....	61
FIGURA 35 – Variação da granulometria das partículas para todas as situações estudadas .....	63
FIGURA 36 – Densidade das amostras dos painéis MDP produzidos .....	65
FIGURA 37 – Resistência à tração perpendicular das amostras dos painéis MDP produzidos .....	66
FIGURA 38 – Flexão estática MOR das amostras dos painéis MDP produzidos.	68
FIGURA 39 – Inchamento das amostras dos painéis MDP produzidos.....	69
FIGURA 40 – Absorção em água das amostras dos painéis MDP produzidos.....	71
FIGURA 41 – Umidade residual das amostras dos painéis MDP produzidos.....	72

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Valores de produção e consumo de painéis de MDP nos últimos anos .....	16
TABELA 2 – Principais produtores de painéis particulados e de fibras .....	17
TABELA 3 – Estimativas do crescimento da demanda de painéis MDP para os próximos anos .....	18
TABELA 4 – Características de um inventário em bracatingais.....	36
TABELA 5 – Propriedades Físicas da Bracatinga .....	37
TABELA 6 – Formulação de cola da CI e CE .....	44
TABELA 7 – Variáveis utilizadas na prensagem do colchão, para todas as situações.....	50
TABELA 8 – Valores médios encontrados nos testes de granulometria.....	62
TABELA 9 – Valores médios encontrados nos ensaios de densidade .....	64
TABELA 10 – Valores médios encontrados nos ensaios de tração perpendicular .....	66
TABELA 11 – Valores médios do MOR.....	67
TABELA 12 – Valores médios encontrados no ensaio de inchamento .....	69
TABELA 13 – Valores médios encontrados no ensaio de absorção de água .....	70
TABELA 14 – Valores médios encontrados no ensaio de umidade residual .....	72

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivos Gerais .....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 Definição de MDP (Aglomerado).....	14
3.2 Mercado de Painéis .....	15
3.3 Aplicação do MDP .....	19
3.4 Evolução Tecnológica na Produção do Painel MDP .....	20
3.5 Processo Produtivo do MDP .....	22
3.5.1 Colheita e replantio da madeira .....	23
3.5.2 Descascamento da madeira .....	24
3.5.3 Picador e estocagem de cavacos .....	24
3.5.4 Moinho Martelo.....	24
3.5.5 Secagem .....	25
3.5.6 Classificação de partículas .....	25
3.5.7 Encolagem.....	26
3.5.8 Formação do Colchão.....	26
3.5.9 Pré-Prensagem e Prensagem.....	27
3.5.9.1 Pressão .....	27
3.5.9.2 Temperatura .....	28
3.5.9.3 Tempo de prensagem.....	28
3.5.10 Corte Transversal .....	28
3.5.11 Resfriamento e Acondicionamento .....	28
3.5.12 Lixamento e Corte .....	29

3.6 Matéria-Prima Indicada na Produção do MDP .....	29
3.6.1 Bracatinga .....	31
3.6.1.1 Sistemas agroflorestais.....	32
3.6.1.2 Aspectos botânicos e ecológicos .....	34
3.6.1.3 Produtividade da bracatinga .....	34
3.6.1.4 Características tecnológicas da madeira de bracatinga .....	36
4. MATERIAIS E MÉTODO.....	38
4.1 Processamento da bracatinga em partículas menores.....	38
4.2 Teor de umidade.....	40
4.3 Encolamento das partículas .....	42
4.4 Formação do colchão .....	46
4.5 Pré-prensagem do colchão .....	47
4.6 Prensagem do colchão .....	49
4.7 Ensaio.....	51
4.7.1 Teste de granulometria e razão de esbeltez (RE) das partículas.....	53
4.7.2 Ensaio de densidade .....	54
4.7.3 Ensaio de tração perpendicular .....	55
4.7.4. Ensaio de flexão estática .....	56
4.7.5 Ensaio de inchamento em espessura .....	57
4.7.6 Ensaio de absorção em água .....	59
4.7.7 Umidade residual.....	59
4.7.8 Espessura final .....	60
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	62
5.1 Teste de granulometria e razão de esbeltez (RE) das partículas .....	62
5.2 Ensaio de densidade .....	64
5.3 Ensaio de tração perpendicular.....	65
5.4 Ensaio de flexão estática .....	67
5.5 Ensaio de inchamento .....	69

5.6 Ensaio de absorção de água .....	70
5.7 Ensaio de Umidade Residual .....	72
5.8 Ensaio de espessura final .....	73
7. CONCLUSÃO .....	74
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental dos consumidores, governos, comunidades e empresas, foi ocasionada pelo rápido crescimento populacional e pelas bruscas mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas. Isto resultou na busca de novos produtos feitos por processos industriais ambientalmente corretos.

O Brasil destaca-se como um dos principais países exploradores de madeira no mundo, porém, apresenta ainda grandes falhas de fiscalização voltadas, principalmente, aos exploradores de madeira, que sempre tentam burlar as leis do país, causando assim danos irreversíveis ao meio ambiente.

Devido a estes fatos, a busca de formas alternativas e menos impactantes do uso de madeira têm sido cada vez mais procurada a fim de desenvolverem-se produtos de qualidade e que sejam de uso sustentável.

Atualmente, observa-se o surgimento cada vez maior de estudos desenvolvidos com o objetivo de aproveitar melhor a madeira, destacando-se a produção de painéis e, dentre eles, as chapas de partículas de madeira, como o MDP (Medium Density Particleboard).

A utilização destes painéis particulados à base de madeira encontra-se em contínua evolução tecnológica, destacando-se pesquisas direcionadas a um maior e melhor aproveitamento desse recurso. Portanto, é de grande importância o estudo de novas combinações de matéria-prima para a produção de painéis de partículas de madeira, focado nos parâmetros que irão influenciar na qualidade, como a densidade da espécie, teor de extrativos, tensões internas além do desempenho mecânico dos painéis quanto à resistência superficial, módulo de ruptura, entre outros.

O presente estudo avaliou o uso de espécie nativa como fonte de matéria-prima alternativa para mistura com eucalipto (*Eucalyptus spp*) na produção de painel MDP. A espécie utilizada foi a bracatinga (*Mimosa scabrella var. scabrella*), que tem sua área de ocorrência natural região sul do Brasil. Também ocorre em menor frequência, principalmente, nas regiões serranas do leste do estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Este trabalho teve por objetivo geral analisar as propriedades físicas e mecânicas de um painel de MDP (Medium Density Particleboard) produzido com eucalipto (*Eucalyptus spp*) e bracatinga (*Mimosa Scarellii*), buscando avaliar o desempenho de uma espécie nativa como alternativa para a composição do painel de partículas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Análise da granulometria das partículas de bracatinga e eucalipto.
- Análise do teor de umidade das partículas de bracatinga e eucalipto.
- Produção dos painéis.
- Caracterização física e mecânica.
- Análise dos resultados dos ensaios de caracterização físicos e mecânicos.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A seguir está apresentada a revisão bibliográfica com objetivo de embasar o estudo que será realizado, a partir de pesquisas as literaturas relacionadas pertinente.

#### **3.1 Definição de MDP (Aglomerado)**

O MDP (Medium Density Particleboard) ou aglomerado, como era conhecido antigamente, é um painel lignocelulósico composto pela mistura de pequenas partículas (comumente madeira) e adesivo, colados sob pressão e temperatura em uma prensa quente (MALONEY, 1993).

Segundo Haselein et. al. (2002), os painéis de aglomerado são produzidos dos mais variados materiais, aos quais se adiciona um adesivo e, por meio de um processo de prensagem das pequenas unidades, forma-se uma peça única. As chapas aglomeradas, geralmente, são produzidas com resinas sintéticas e os métodos de produção exigem gastos significativos com aquecimento na prensagem e gastos de energia para a secagem das partículas.

No entanto, Macedo e Roque (2002) relatam que o painel de aglomerado é formado a partir da redução da madeira em partículas. Após a obtenção das partículas de madeira, estas são impregnadas com resina sintética e, arranjadas de maneira consistente e uniforme, formando um colchão. Esse colchão, pela ação controlada do calor, pressão e umidade, adquire a forma definitiva e estável denominada aglomerado.

Mattos et. al. (2008) refere-se ao MDP como uma chapa fabricada com partículas de madeira aglutinadas por meio de resina, com ação de calor e pressão, produzida a partir de florestas ou de resíduos industriais de eucalipto ou pinus, ou a partir de toras reduzidas a partículas.

### 3.2 Mercado de Painéis

O fim da Segunda Grande Guerra proporcionou o aumento do emprego de chapas particuladas de madeira por todo o mundo, principalmente, nos ramos industriais, de movelaria e construção civil (ALBUQUERQUE, 2001).

Segundo dados da FAO (2010), o MDP é o painel mais produzido no mundo, dentre os painéis de madeira reconstituída (compensado, chapa dura, MDF etc). Entre os anos de 2000 e 2009, a produção mundial de MDP cresceu a uma taxa média anual de 1,29%, com grande destaque ao Brasil, que apresentou taxa média anual de 5,23%. Individualmente, os principais países produtores de MDP no ano de 2009 são os Estados Unidos (14,35%), China (12,25%) e Alemanha (9,91%), sendo que o Brasil aparece em 8º lugar (2,93%), conforme Figura 1.

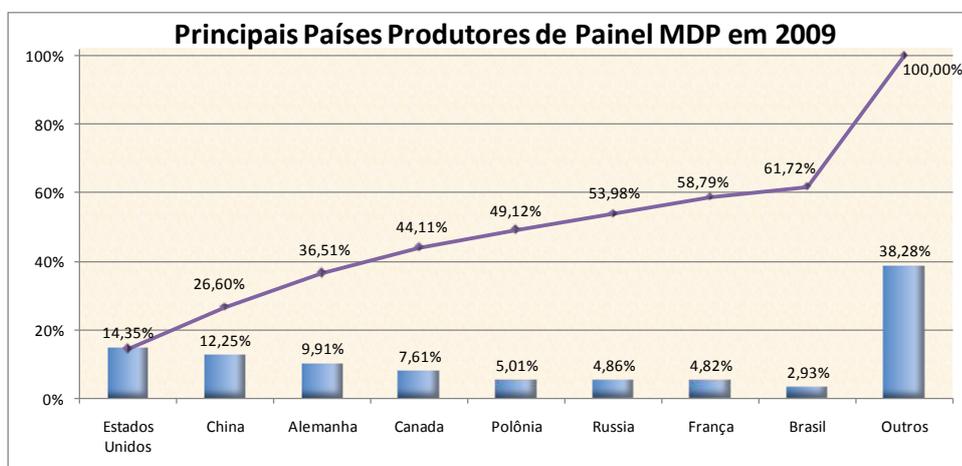


Figura 1 - Principais países produtores de painel MDP em 2009.  
Fonte: FAO (2010).

A situação do Brasil é semelhante à mundial, onde o MDP é o painel com participação no consumo dos painéis de madeira reconstituída, perdendo em relação à produção somente para o compensado. A Tabela 1 demonstra alguns valores brasileiros de consumo e produção para o MDP.

**Tabela 1** – Valores de produção e consumo de painéis de MDP nos últimos anos no Brasil.

PAINEL MDP		PRODUÇÃO	CONSUMO
1995	mil m <sup>3</sup>	879,0	866,0
	%*	29,0	40,1
2000	mil m <sup>3</sup>	1762,0	1762,0
	%*	34,4	-
2005	mil m <sup>3</sup>	2049,0	2098,0
	%*	26,6	42,9

\* Percentual da quantia total de todos os tipos de painéis produzidos.  
 Fonte: Mattos et. al. (2008).

O consumo per capita de MDP no Brasil em 2006 representava aproximadamente 3% do consumo mundial (Figura 2). Com os grandes investimentos e incentivos nas fábricas de painéis de madeira reconstituída, o Brasil passou a um consumo em 2009 de 5% (Figura 3), com aumento de aproximadamente 250% neste período (ABIPA, 2010).

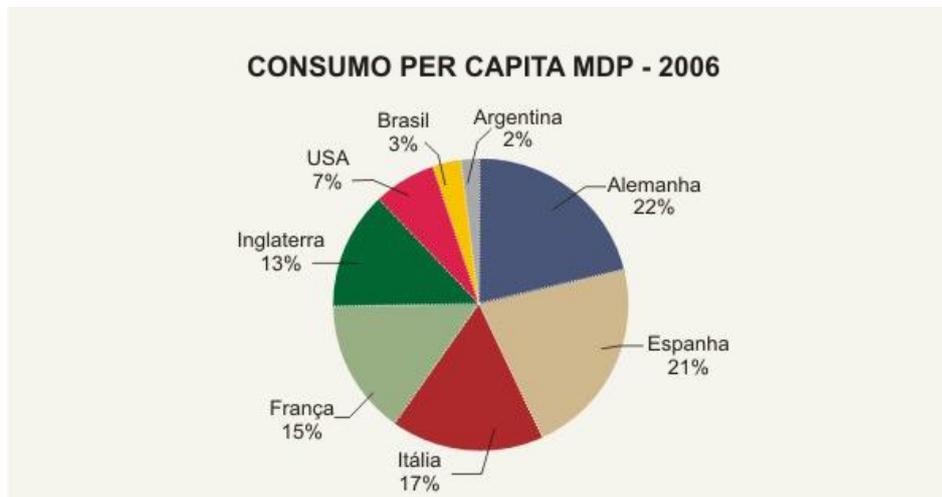


Figura 2 – Valores de consumo per capita de painel MDP nos principais países consumidores em 2006.

Fonte: ABIPA (2010).

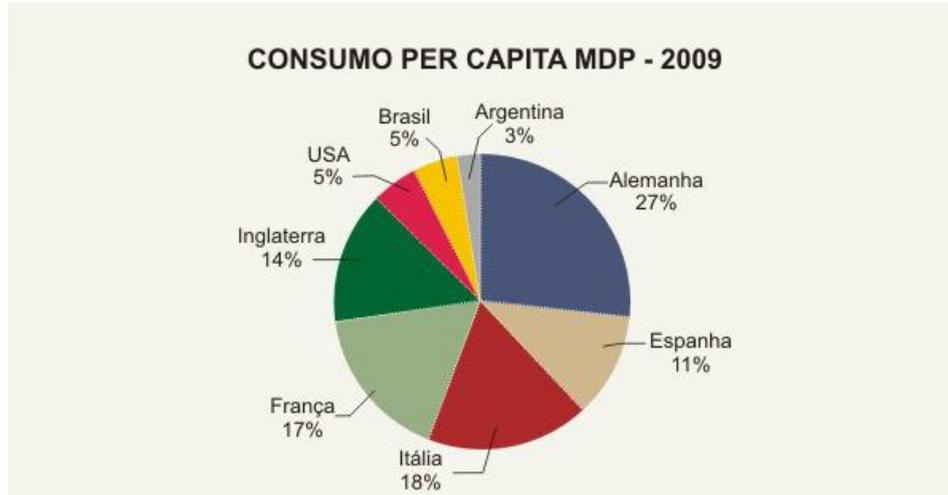


Figura 3 - Valores de consumo per capita de painel MDP nos principais países consumidores em 2009.

Fonte: ABIPA (2010).

O Brasil possuía uma capacidade de produção em 2007 de MDP de 3,1 milhões de metros cúbicos, onde estas concentram-se nas “mãos” de poucas empresas: Berneck, Nova Duratex (fusão Duratex e Satipel), Eucatex, Arauco (fusão Placas do Paraná e Tafisa) e Bonet. Estas empresas estão localizadas, principalmente, na região Sul e Sudeste (MACEDO e ROQUE, 2002). As principais fábricas brasileiras produtoras de MDP/MDF estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Principais produtores de painéis particulados e de fibras.

EMPRESA	ESTADO	CAPACIDADE PRODUTIVA (mil m <sup>3</sup> /ano)	%
Nova Duratex (Fusão Duratex/Satipel)	SP/MG/RS	2510	41%
Placas do Paraná (Fusão Tafisa/Placas do Paraná)	PR	1270	21%
Berneck	PR	640	10%
Eucatex	SP	610	10%
Masisa	RS	600	10%
Fibraplac	PR/PA	450	7%
Bonet	SC	60	1%
<b>TOTAL</b>	-	<b>6140</b>	<b>100%</b>

Fonte: ABIPA (2007).

Na Figura 4 estão ilustradas as localizações das principais fábricas brasileiras de painéis de madeira reconstituída.

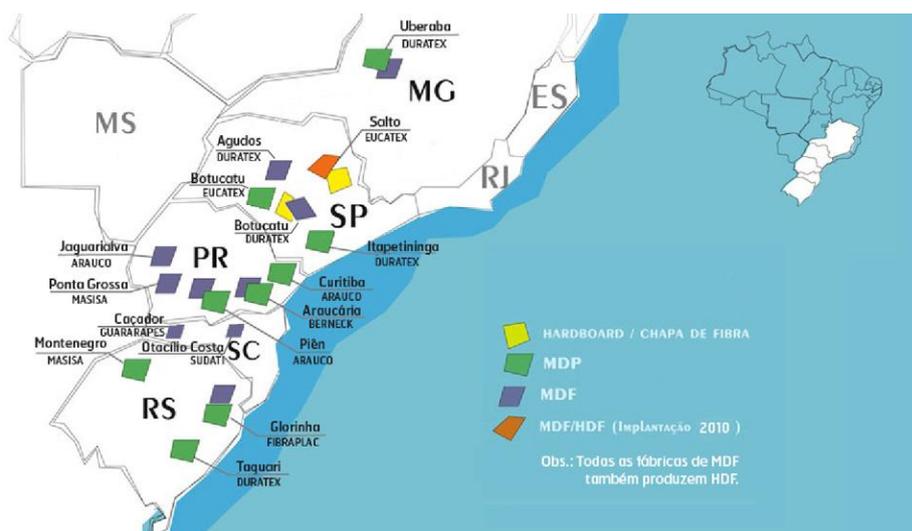


Figura 4 – Localização dos principais fabricantes brasileiros de painéis de madeira reconstituída.  
Fonte: ABIPA (2010).

O MDP é o painel que, em geral, possui o menor preço, por isso comumente utilizado na produção de móveis de menor valor comercial. A evolução de preços para os principais painéis de madeira reconstituída podem ser observadas na Figura 5 (FOELKEL, 2009).

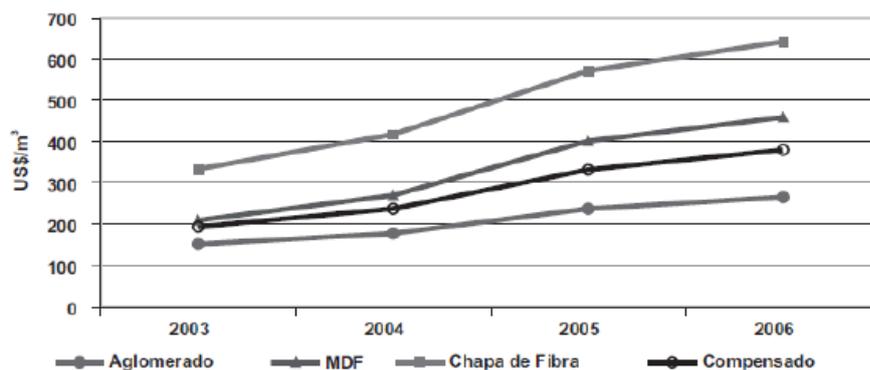


Figura 5: Evolutivo de preços dos principais painéis ao longo dos últimos anos  
Fonte: STCP (2006).

**Tabela 3** - Estimativas do crescimento da demanda de painéis MDP para os próximos anos.

Perspectiva Mercado MDP	Crescimento 2006 - 2012
Otimista	10,0%
Conservador	7,0%
Média	6,2%

Fonte: Mattos et. al. (2008).

De acordo com a ABIPA (2007) a capacidade instalada no ano de 2008 referente ao setor de painéis de madeira era de 6 milhões de metros cúbicos, e para o ano de 2012 há uma perspectiva de aumento em 83,33%, correspondente a 11 milhões de metros cúbicos.

Ainda a ABIPA (2007) faz referência à situação fabril brasileira como a seguinte: “O Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída. É também o país com o maior número de fábricas de última geração. Com investimentos contínuos em tecnologia e automação, as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura.”

### **3.3 Aplicação do MDP**

O mercado de painéis de aglomerado está voltado ao setor moveleiro, sendo o consumo restante dividido entre a fabricação de caixas acústicas, gabinetes de televisão e divisórias (MACEDO e ROQUE, 2002).

De acordo com a ABIPA (2010) no Brasil, a aplicação dos painéis de partículas possui um enfoque maior no MDP, pois aproximadamente 89% deste tipo de painel está empregado na indústria moveleira (Figura 6). Com relação ao OSB este é um painel com maior aplicação na construção civil, já que é considerado um painel de uso estrutural.

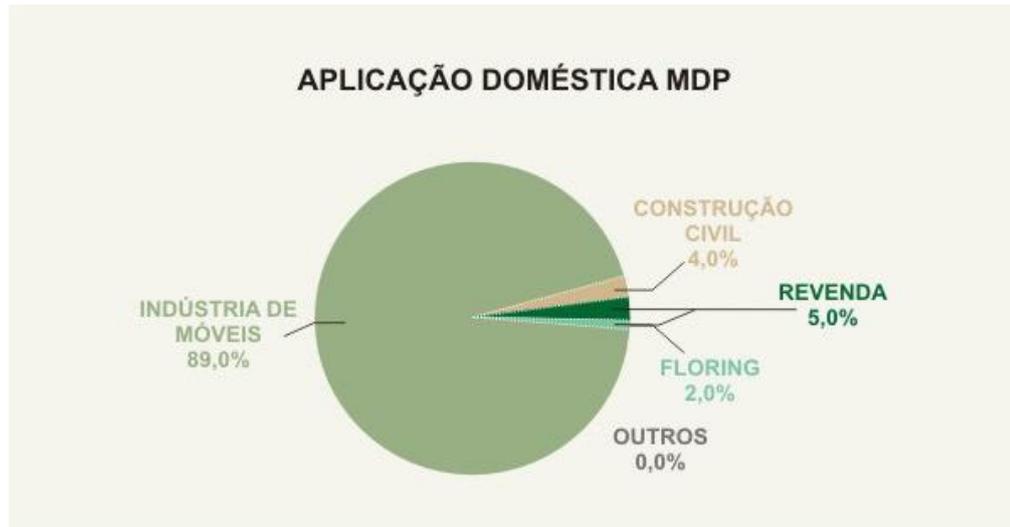


Figura 6 - Aplicação doméstica do painel MDP no Brasil.  
Fonte: ABIPA (2010).

### 3.4 Evolução Tecnológica na Produção do Painel MDP

Os painéis de partículas de madeira, MDP, são geralmente fabricados com pequenos fragmentos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos aglutinados com adesivos sintéticos ou outro aglomerante, sendo o conjunto prensado à quente por tempo suficiente para que a cura da resina ocorra plenamente (MACIEL et. al., 2004). A madeira utilizada para produção de painéis aglomerados é proveniente de madeira de reflorestamentos, podendo ser de pinus, eucalipto e algumas utilizam as espécies citadas em proporções variáveis. O adesivo mais utilizado é a resina sintética uréia-formaldeído, já que o fenol-formaldeído pode ser empregado em casos excepcionais e muito menos usuais (chapas resistentes à umidade), acarretando em maiores custos produtivos. Além da resina, outros aditivos são misturados, como emulsão de parafina, retardantes de fogo e biocidas preservantes para melhorar algumas características do produto final (MACIEL et. al., 2004).

Segundo Iwakiri (2005), a tecnologia para a produção do aglomerado se iniciou na Alemanha ao longo da Segunda Guerra Mundial, devido à falta de matéria-prima para produção de painéis compensados, e pela possibilidade de aproveitamento dos resíduos de madeira para produção destes painéis.

Depois da Segunda Grande Guerra, por volta de 1949, ocorreu acréscimo em produção e desenvolvimento de resinas sintéticas, onde, conseqüentemente,

estimulou direta e indiretamente as fabricantes de chapas de aglomerado (SENAI, 1994).

Por volta de 1960 os EUA tiveram uma grande expansão da indústria de chapas, com o desenvolvimento de resinas com menor tempo de cura na prensa e chapas de superfície lisa, que eram utilizadas na produção de miolos para mobiliário e revestimento de piso (MALONEY, 1993).

A primeira indústria de aglomerado no Brasil foi instalada em Curitiba, em 1966 (IWAKIRI, 2005). Por volta de 1995 ocorreram mudanças positivas como a utilização de prensas contínuas, melhores classificadores de partículas, resinas mais eficientes e *softwares* de controle de processo aperfeiçoados, agregando ao produto melhores propriedades de resistência, aliada a recente alteração na nomenclatura de aglomerado para MDP (MATTOS et. al., 2008).

O MDP é um painel que tem como precursor a chapa de madeira aglomerada. Pode ser considerado uma evolução do aglomerado em termos de processo produtivo e qualidade do produto final. MDP é a sigla para Medium Density Particleboard, traduzindo pode-se dizer que é um painel de partículas de média densidade. As partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas na região central do painel e as mais finas nas superfícies externas formando três camadas. As partículas são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua de última geração. É o resultado da evolução da tecnologia de prensas contínuas e pertence a uma nova geração de painéis de partículas de média densidade (ABIPA 2010).

Esta nova tecnologia empregada no processo proporcionou melhora na distribuição das camadas de partículas de madeira, resultando em um painel com maior estabilidade dimensional, mais homogêneo, com maior durabilidade e resistência e menor custo final (PAINÉIS, 2007). Quanto às propriedades mecânicas, os painéis de MDP apresentam um comportamento mecânico elástico-plástico podendo ser maior que a própria madeira maciça (VIGNOTE E JIMÉNEZ, 1996 apud DACOSTA et. al., 2005).

A utilização de menores partículas nas camadas externas favorece a um melhor acabamento superficial, podendo receber pintura ou revestimento de vários tipos. Entre os revestimentos destacam-se os papéis impregnados com resinas

melamínicas, papéis envernizáveis e lâminas ou folhas de madeira natural (MACEDO e ROQUE, 2002).

As vantagens da utilização da tecnologia empregada na produção de painéis de aglomerados podem ser citadas, como sendo (DIAS, 2005):

- Minimização do fator anisotrópico da madeira sólida;
- Propriedades físicas e mecânicas mais homogêneas;
- Eliminação de fatores redutores da resistência da madeira (nós, inclinação da grã, lenho juvenil, entre outros);
- Adequação das propriedades dos painéis através do controle dos parâmetros do processo;
- Menores exigências em termos de qualidade da madeira, como diâmetro da tora, forma do fuste, defeitos etc;
- Menor custo de produção, decorrente dos requisitos de qualidade da madeira e automação do processo produtivo

### **3.5 Processo Produtivo do MDP**

Em 2002, foi criada a primeira norma técnica brasileira para chapas de madeira aglomerada ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 14.810/2006. O documento normativo define chapa de madeira aglomerada como produto em forma de painel constituído de partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais, sintéticas e termofixas, sob a ação de pressão e calor. A matéria-prima pode ser:

- Material florestal proveniente de desbaste e poda (incluindo a casca);
- Resíduos industriais gerais como costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas etc;
- Resíduos industriais finos, tais como pó de serra e cavacos de plaina;
- Cavacos de madeira do beneficiamento de indústria de móveis e carpintaria.
- Materiais lignocelulósicos como bagaço de cana, palha de arroz e outros resíduos agrícolas puros ou misturados com partículas de madeira.

A densidade do painel é também um parâmetro utilizado para a classificação dos painéis aglomerado. Estes são classificados como painéis de baixa densidade, abaixo de  $0,59\text{g/cm}^3$ ; painéis de média densidade, de  $0,59\text{g/cm}^3$  a  $0,80\text{g/cm}^3$  e painéis de alta densidade, acima de  $0,80\text{g/cm}^3$  (BARROS FILHO, 2009).

A Figura 7 ilustra o processo de produção do MDP.

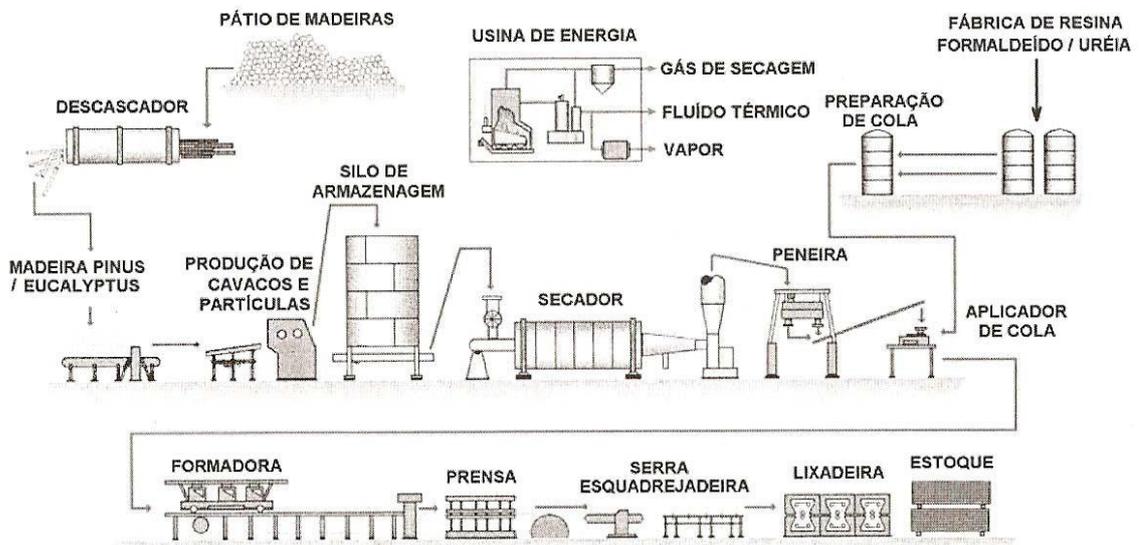


Figura 7 - Processo produtivo de painéis MDP/aglomerada.  
Fonte: Iwakiri (2005).

As etapas de produção do painel de MDP serão descritas nos tópicos a seguir.

### 3.5.1 Colheita e replantio da madeira

Como já foi citado anteriormente, as madeiras mais utilizadas para a produção de MDP são *Pinus spp* e *Eucalyptus spp*, onde as operações de colheita da madeira são realizadas mecanicamente, com equipamentos modernos e especializados, funcionando 24 horas por dia, sete dias por semana. O transporte da madeira até a fábrica é feito com caminhões específicos à operação. As áreas liberadas são geralmente replantadas com mudas de eucalipto clonadas, com produtividade esperada próxima de  $40\text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  e ciclo de sete anos para a realização do corte (DURATEX, 2009).

### 3.5.2 Descascamento da madeira

As toras chegam à fábrica com comprimento típico de 6 metros, onde são alimentadas em um tambor descascador giratório, para a remoção da casca. Através da fricção entre as toras, que são movimentadas por aletas internas do tambor, a casca é removida, sendo, posteriormente, utilizada como biomassa, combustível empregado na geração de energia térmica para o próprio processo de fabricação do painel. As toras sem casca são conduzidas para o picador (DURATEX, 2009).

### 3.5.3 Picador e estocagem de cavacos

O picador é um equipamento onde as toras são fragmentadas em pedaços denominados cavacos. Nele ocorre a transformação dos toretes em cavacos, através de duas etapas: redução primária: para formação de cavado ou *chips* (cavacos maiores), e redução secundária: para formação de flakes (cavacos menores) (IWAKIRI, 2005).

Após o processamento primário (picagem), os cavacos são dirigidos para silos de armazenamento de grande capacidade, que funcionam como pulmões dos processos produtivos das linhas MDP e MDF (DURATEX, 2009).

### 3.5.4 Moinho Martelo

Do silo de armazenamento, os cavacos (*chips*) seguem para um conjunto de equipamentos denominados moinho martelo (*ring flakers*), onde são reduzidos a lascas menores (*flakes*). Este processo é conhecido como redução secundária (DURATEX, 2009).

### 3.5.5 Secagem

A determinação do teor de umidade das partículas é decisiva na melhoria das propriedades do painel. Este teor de umidade influencia diretamente na cura da resina, no tempo de prensagem e na pressão necessária para consolidação do painel até a espessura final desejada (BARROS FILHO, 2009).

O tempo de secagem das partículas é outro fator determinante na qualidade do painel, onde esta será tanto maior quanto maior for a densidade da madeira, a espessura das partículas, umidade inicial e menor umidade final. Este tempo também irá variar de acordo com a temperatura, a velocidade do ar e o volume de partículas dentro do secador (IWAKIRI, 2005).

A secagem dos cavacos é feita com ar quente, em secadores especialmente projetados para esta finalidade. A umidade natural da madeira é reduzida até valores entre 2% e 3% na saída do secador. O ar quente utilizado na secagem das partículas é proveniente da planta de energia (DURATEX, 2009).

### 3.5.6 Classificação de partículas

Depois de concluída a etapa de secagem, todas as partículas são classificadas através de peneiras vibratórias e classificadores a ar, em quatro diferentes tamanhos de partículas: oversize, material de miolo, material de superfície e pó. As partículas de *oversize* são retornadas para moinhos que realizam sua moagem e conseqüente redução de granulometria, após o que são retornadas ao processo (DURATEX, 2009).

Segundo Iwakiri (2005), na etapa da classificação são retirados os finos e impurezas, separadas (no caso de painéis de várias camadas) as partículas maiores para as partes mais internas e as partículas menores para as partes mais externas. Para tal são usadas as peneiras vibratórias que separam as partículas em função das suas dimensões, ou através de sistema pneumático que classifica as partículas

de acordo com o seu peso. As partículas de miolo e superfície são enviadas para encolagem em circuitos independentes. O pó é enviado para a unidade de energia.

### **3.5.7 Encolagem**

A quantidade de adesivo aplicado é normalmente de 6 a 12% em relação ao peso das partículas secas, e a homogeneidade da distribuição deste sobre a superfície das partículas, assegurando assim propriedades uniformes ao painel (BARROS FILHO, 2009).

No processo de encolagem, as partículas, já classificadas de acordo com sua granulometria na fase anterior, são misturadas com resina uréia-formaldeído catalisada, responsável pela adesão (colagem) das partículas, e com emulsão de parafina, aditivo que melhora algumas propriedades do produto acabado, como a permeabilidade (DURATEX, 2009).

O “gel time” ou tempo de gelatinação é um importante teste que deve ser realizado na preparação da cola, pois está relacionado à vida útil do adesivo ou tempo de “panela”, quando se atinge o ponto de máxima viscosidade admissível para a sua aplicação. Está também relacionada à reatividade do adesivo, que por sua vez, influenciará o tempo de prensagem (IWAKIRI, 2005).

### **3.5.8 Formação do Colchão**

A formação do colchão é feita pela distribuição dos cavacos sobre uma esteira, sucessivamente uma camada de material de superfície (mais fino), uma camada de material de miolo (mais graúdo) e outra camada de material de superfície, que constituem um “bolo” ou “colchão” de madeira encolada (DURATEX, 2009).

Segundo Iwakiri (2005), a formação do colchão é feita pela estação formadora, através de um reservatório de partículas com adesivo que vai dosando-

as sobre uma esteira móvel. Os métodos mais utilizados são o de formação contínua, onde o material é depositado sobre uma esteira móvel de forma ininterrupta e o sistema de formação descontínua, onde o material é depositado sobre a esteira móvel num sistema de partida, parada e partida.

### **3.5.9 Pré-Prensagem e Prensagem**

A prensagem dos painéis é composta por duas fases, pré-prensagem e prensagem a quente. A pré-prensagem é a etapa que precede a prensagem a quente e têm com objetivos diminuir a altura do colchão, melhorar a sua consistência e facilitar o processo de carregamento da prensa a quente. Já a prensagem a quente é a segunda etapa do processo e têm com objetivos a cura da resina, obtenção da densidade pretendida e a consolidação do colchão na sua espessura final. As principais variáveis do ciclo de prensagem são: pressão, temperatura e tempo de prensagem. A seguir as variáveis serão descritas de forma sucinta (IWAKIRI, 2005).

#### **3.5.9.1 Pressão**

A pressão aplicada no colchão esta relacionada à área de contato entre as partículas e a densidade da chapa, onde quanto maior a densidade pretendida do painel, maior será a pressão a ser aplicada para satisfazer a consolidação do colchão. Geralmente a pressão aplicada aos painéis varia entre 12 a 40kgf/cm<sup>2</sup> (IWAKIRI, 2005).

### **3.5.9.2 Temperatura**

A temperatura de prensagem pode ser definida como a quantidade de calor necessária para se obter a cura da resina, por isso depende da resina a ser utilizada. Geralmente, painéis que utilizam resina uréia-formaldeído (MDP), são prensados a 180°C (IWAKIRI, 2005).

### **3.5.9.3 Tempo de prensagem**

O tempo de prensagem é o tempo que leva para que o interior do painel atinja a temperatura ideal para a cura da resina, fazendo com que a umidade do interior da chapa saia pelas suas bordas em forma de vapor. Este tempo está relacionado com a espessura do painel, a umidade do painel e a temperatura de prensagem (IWAKIRI, 2005).

### **3.5.10 Corte Transversal**

Na saída da prensa, o painel de madeira é cortado em movimento, por serra que opera diagonalmente, em velocidade combinada ao avanço da prensa (para processos contínuos) (DURATEX, 2009).

### **3.5.11 Resfriamento e Acondicionamento**

Após o corte na saída da prensa, as chapas passam por acumuladores giratórios ("rodas de resfriamento") que reduzem a temperatura das mesmas. São acondicionadas por um período mínimo de 48h para a sua climatização a fim de

atingirem a temperatura e teor de umidade de equilíbrio com o ambiente em torno de 12% (IWAKIRI, 2005).

Para que as reações residuais da resina uréia se completem, e com isso se tenha um painel de estabilidade ideal, realiza-se uma estocagem (maturação) dos painéis por período de 24 a 72 horas (DURATEX, 2009).

### **3.5.12 Lixamento e Corte**

Após o acondicionamento das chapas, as mesmas são lixadas em uma linha de acabamento por lixadeiras, proporcionando uma uniformidade de espessura e condição de superfícies para aplicação de qualquer tipo de revestimento de painéis, e finalmente cortadas nas dimensões comerciais finais (DURATEX, 2009).

## **3.6 Matéria-Prima Indicada na Produção do MDP**

Segundo Chipanski (2006, apud Barros Filho 2009), o processamento de madeiras reflorestadas para a produção do MDP foi o grande salto dos painéis aglomerados, principalmente, as florestas plantadas de *Pinus spp* e *Eucalyptus spp*.

As fontes de matéria-prima alternativas para a produção dos painéis de madeira reconstituída são muito estudadas atualmente. Há pesquisas de painéis conhecidos como AFB (Agricultural Fiber Board), que sua composição pode ser de origem vegetal, como a casca de arroz, fibra de mamona, de café e trigo. Outras matérias-primas também pesquisadas para a fabricação dos painéis são as de origem de refugos industriais, como pneu de carro, embalagens Tetra Pack e garrafas PET (BARROS FILHO, 2009).

Conforme Iwakiri (2005), as madeiras mais utilizadas na produção de chapas de partículas são as espécies de coníferas, devido à baixa densidade da madeira. No Brasil a madeira de pinus é a mais utilizada. Algumas espécies de eucalipto,

acácia negra e bracatinga também são utilizadas em menor escala como parte da mistura com a madeira de pinus.

Geralmente as partículas usadas na fabricação destes painéis são de uma única espécie, porém pode-se misturá-las em proporções calculadas, suprimindo assim as necessidades de mercado ou pela busca de novas propriedades (BARROS FILHO, 2009).

Espécies usuais de eucalipto e pinus são comuns de serem utilizadas há várias décadas na produção de painéis à base de madeira. Essas espécies de madeira apresentam características favoráveis para a composição dos painéis de madeira reconstituída, devido à densidade favorável além de boa interação com as resinas sintéticas.

O eucalipto (*Eucalyptus spp*) é originário da Austrália e sua utilização no início do século passado intensificou o plantio no Brasil. Atualmente, o eucalipto é muito aproveitado, desde o tronco (para a fabricação de sarrafos, lambris, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barcos, tábuas para embalagens, móveis e partículas, lâminas para painéis ou a celulose para a fabricação de papel), como também as folhas (para a fabricação de óleos na indústria de perfumes, produtos de limpeza e farmacêuticos) e a casca (para a extração do tanino utilizado no curtimento do couro) (BARROS FILHO, 2009).

O pinus (*Pinus spp*) foi introduzido no Brasil com grande sucesso, principalmente, para atender a demanda no setor moveleiro. Esta árvore teve grande incentivo de leis fiscais para servir de alternativa à madeira de *Araucária angustifolia* (pinheiro do Paraná) (BARROS FILHO, 2009).

No entanto, estudos buscando cada vez mais o uso de espécies alternativas, surgem como nova proposta para a indústria de painéis, que tem apresentado crescimento nacional acima do verificado em outros países, o que pode sinalizar no futuro escassez de matéria-prima. Com base nessas informações é que surgiu a proposta de estudo utilizando a madeira de bracatinga para a produção do painel MDP.

### 3.6.1 Bracatinga

Segundo Rotta e Oliveira (1981), a *Mimosa scabrella Benth.* é conhecida popularmente como bracatinga, bracaatinga, abaracaatinga, bracatinho, abraacatinga e paracaatinga.

O “Manual Técnico da Bracatinga”, EMBRAPA (1988), descreve a bracatinga como *Mimosa scabrella Benth.*, pertencente à família das *Mimosaceae*, antiga sufamília *Mimosoideae* (Leguminosae). Há três diferentes variedades populares de bracatinga, sendo elas:

a) Bracatinga-branca (*Mimosa scabrella var. scabrella*): É a bracatinga comum, de madeira clara. Apresenta densidade básica de aproximadamente 0,55 g/cm<sup>3</sup>.

b) Bracatinga-vermelha (*Mimosa scabrella var. hoehne*): A madeira é mais dura, avermelhada, com melhores características energéticas. Em um mesmo talhão, pode-se verificar a ocorrência em conjunto de bracatinga-branca e a vermelha; a branca é mais abundante e é preferida pelos agricultores, pois a vermelha tem madeira muito dura e, no seu corte, o rendimento homem/dia é menor. Os agricultores, geralmente, trabalham com machado ou foice, o que dificulta o trabalho de corte desta variedade. O preço da madeira no mercado é uniforme para qualquer variedade. Apresenta densidade básica de aproximadamente 0,61 g/cm<sup>3</sup>.

c) Bracatinga-argentina (*Mimosa scabrella var. aspericarpa*): Apesar do seu nome vulgar, esta variedade nada tem a ver com o país Argentina onde, aliás, a bracatinga não ocorre naturalmente. Em 1986, esta variedade foi localizada, pela primeira vez, em bracatingais de produção, plantados no município de Bocaiúva do Sul - PR, nas localidades de Poço Grande e Barra das Cruzes. O seu material botânico foi identificado como *M. scabrella var. aspericarpa*. Segundo os agricultores, a bracatinga-argentina tem crescimento mais rápido; podendo ser cortada para lenha aos 5 a 6 anos. Em plantios mistos, esta variedade tende a dominar o bracatingal, em virtude do seu rápido crescimento. Ela diferencia-se por apresentar folhas mais claras, frutos e sementes maiores e mais rugosos; os frutos inserem-se nos ramos terminais. Apresenta densidade básica de aproximadamente 0,562 g/cm<sup>3</sup>.

Segundo Fabrowski et. al. (2005), as diferenciações de cores entre as bracatingas brancas e vermelhas não estão relacionadas estatisticamente aos elementos anatômicos de seus lenhos, sendo ambas classificadas como bracatinga comum. Ainda Fabrowski et. al. (2005) considera que a bracatinga comum apresenta seis diferenças estatísticas anatômicas com relação à variedade popular bracatinga argentina, sendo diferentes quanto ao diâmetro tangencial dos poros (mm) a 95% de probabilidade; quantidade de poros/mm<sup>2</sup>, comprimento dos elementos vasculares (mm), diâmetro das células parênquimo-axiais (mm), largura dos raios unisseriados (mm) e largura dos raios multisseriados (mm), todas com 99 % de probabilidade. As diferenças anatômicas entre a bracatinga-comum e a bracatinga-argentina também são notadas visualmente, quando as lâminas destas são analisadas ao microscópio óptico.

A Figura 8 ilustra uma árvore de bracatinga na vegetação natural.



Figura 8 – Árvore de bracatinga.

### **3.6.1.1 Sistemas agroflorestais**

Desde o começo do século, a bracatinga é cultivada em sistemas agroflorestais e consumida como fonte energética na região metropolitana de Curitiba – PR (CARPANEZZI, 1994 apud ARAÚJO 2004).

O primeiro relato à área de distribuição geográfica da bracatinga reporta-se a 1900, por Romário Martins, citado por BRASIL (1934, apud ROTTA e OLIVEIRA 1981). Em 1909, iniciou intensa propaganda para o seu plantio, devido, principalmente, ao rápido crescimento por ela apresentado (MARTINS, 1944 apud ROTTA e OLIVEIRA, 1981).

De acordo com a Baggio et. al. (1986), o sistema agroflorestal tradicional com bracatinga pode ser considerado, como o mais antigo sistema de produção racional de lenha no sul do Brasil, anterior prática à eucaliptocultura. Ele foi desenvolvido totalmente com base na vivência prática dos agricultores e nos últimos anos, começou a ser foco de interesse de instituições de ensino e pesquisa.

Ao seu reconhecido potencial energético, alia-se o potencial silvicultural, tendo em vista ser uma espécie heliófita rústica de rápido crescimento, frutificando regularmente e em abundância. Favorece, com isto, a produção de mudas, sendo que as sementes não apresentam problemas de germinação (ROTTA e OLIVEIRA, 1981).

Segundo Laurent e Mendonça (1990, apud Baggio e Carpanezzi 1997), o número de rotações da bracatinga em um mesmo terreno é elevado, chegando a oito cortes, ou seja, mais de cinquenta anos.

Segundo Rotta e Oliveira (1981), referencia a bracatinga como espécie pioneira que desenvolve-se bem a céu aberto, resistindo às geadas. Já a EMBRAPA (1988), cita que a bracatinga não é, generalizadamente, resistente à geadas. Esta última diz ainda que em bracatingais com menos de um ano, após geadas severas, constata-se plantas totalmente ou parcialmente queimadas e, também, plantas não afetadas.

Como vantagens ecológicas da escolha da bracatinga, temos o fato de ser uma planta heliófita, fixadora de nitrogênio no solo, que deposita grande quantidade de matéria orgânica no mesmo, recupera áreas deterioradas e pode ser cultivada em plantios homogêneos, também em áreas onde a produtividade de espécies exóticas se mostre muito baixa. Em regime de rotação de cultura em áreas florestais com espécies exóticas, poderá acrescentar qualidade ao sítio (ARAÚJO, 2004).

### **3.6.1.2 Aspectos botânicos e ecológicos**

A madeira da bracatinga apresenta alborno e cerne indistintos, brilho pouco acentuado, cor castanha acinzentada a castanha rosada, grã-direita, não aromática, moderadamente dura, sem sabor e textura média. Os anéis de crescimento são bem visíveis (EMBRAPA, 1988).

A espécie produz madeira classificada como pesada, de resistência mecânica média, difícil de cortar, mas fácil de aplainar ou lixar, donde se obtém superfície relativamente lisa. A madeira serrada é indicada para construção civil, assoalhos e embalagens em geral. Durante a secagem artificial de tábuas foi definida como madeira com presença de colapso em todas as temperaturas aplicadas, deformações e rachaduras maiores, sugere-se assim a secagem a baixas temperaturas ou ao ar livre (SUDESUL, 1979 apud AGUIAR, 2006).

A bracatinga é uma árvore nativa dos climas mais frios do Brasil, e ocorre abundantemente na Região Metropolitana de Curitiba, onde se constitui a principal espécie fornecedora de lenha para atendimento das necessidades energéticas da região (LAURENT e MENDONÇA, 1989 apud WEBER, 2007).

### **3.6.1.3 Produtividade da bracatinga**

O estudo do padrão de crescimento da bracatinga, pela análise da densidade da madeira, confirmou que seu ciclo de vida é curto. A espécie apresenta um rápido crescimento nos primeiros seis anos de idade, atingindo, em seguida, um patamar de lento crescimento por dois ou três anos, a partir daí, entra numa fase de declínio vital. A curva passa por um máximo no ponto correspondente a 8,6 anos de idade; isto indica que, até este ponto, existe um aumento no crescimento anual de matéria seco e que, a partir desta idade, as árvores entram em declínio (EMRAPA 1988).

Numa fase inicial, dos 3 aos quase 6 anos, os bracatingais se caracterizaram por uma intensa mortalidade com conseqüências sobre a área basal, diminuindo a sua magnitude, com fustes de diâmetros à altura do peito reduzidos, em torno dos 7

cm e acelerado crescimento em altura total com valores médios de 8,6 a 10 metros. Entre os 6 e 9 anos de idade a taxa de mortalidade se estabilizou, permitindo ao bracatingal atingir seu máximo de produção com um valor médio de 107,74 m<sup>3</sup>/ha, para os diferentes sítios e para a espécie em questão. Em uma terceira etapa a taxa de mortalidade volta a sofrer incremento provocando a queda no volume. Ao mesmo tempo ocorre a estabilização no crescimento da altura dominante e logo da altura média, salientando que quando individualizados os valores desta última variável por classe de sítio, a altura total média continuou aumentando. Finalmente, os poucos indivíduos que permanecem em pé, ao redor de 5% do número de árvores inicial, continuam crescendo em diâmetro (AGUIAR, 2006).

O crescimento da bracatinga é muito vigoroso nos dois primeiros anos, diminuindo em seguida. Em sítios de alta produtividade, como em Concórdia-SC, as taxas anuais de crescimento em altura e em diâmetro no segundo ano de idade, chegam a 4,5 m e 4,5 cm, respectivamente. No quarto ano, as taxas de crescimento passam, a 3,3 m e 3,0 cm, em altura e diâmetro respectivamente (EMRAPA 1988).

Carvalho e Costa (1981, apud Araújo 2004), realizaram estudos com árvores de bracatinga na região de Campo Mourão - PR, onde apresentou os seguintes incrementos aos 40 meses após o plantio: 3,22 m de altura por ano, 2,67 cm de diâmetro por ano e 31,1 m<sup>3</sup>/ha/ano.

Segundo a EMBRAPA (1988), a bracatinga pode atingir mais de 20 m de altura. A maior altura conhecida é 29 m e os diâmetros na altura do peito (DAP) raramente ultrapassam 40 cm.

Por ser uma espécie de rápido crescimento, a madeira de bracatinga já pode ser utilizada aos 4 anos de idade. As toras são roliças, de fácil manuseio, sendo também fácil a operação de descascamento nos primeiros 15 dias após o corte. Depois deste período, a casca se adere fortemente ao lenho, tornando muito difícil a operação (ASSIS et al., 1968 apud ARAÚJO, 2004).

Segundo Araújo (2004), estudos feito pela Universidade Federal do Paraná (1979) com a bracatinga, avaliando seu potencial tecnológico para madeira serrada, concluiu que a madeira é relativamente difícil de ser cortada, mas fácil de aplainar e lixar. O acabamento superficial foi bom, liso, e o lustre mediano é bastante uniforme. Em alguns casos o aproveitamento era reduzido devido à presença de fendas nos troncos com inclusão de casca, que penetrava até a medula da árvore. A madeira de

bracatinga tem ganhado cada vez mais destaque pela sua beleza, lembrando a imbuia pela sua cor marrom escura.

Segundo Mazuchowski (1989, apud Araújo 2004), nos sistemas tradicionais, aos 7 anos de idade um povoamento de bracatinga produz de 150 a 200 st por hectare. Isso dá um incremento médio anual de 12,5 a 15,0 m<sup>3</sup>/ha equivalente a 18 a 23 st.

Na Tabela 4, são descritos os resultados de um inventário nos bracatingais localizados em Colombo - PR. Os dados foram obtidos em diferentes talhões de bracatinga, medidos em uma mesma época, em duas propriedades contíguas com parcelas de 100 m<sup>2</sup>, parcelas por talhão (EMBRAPA, 1988).

**Tabela 4** - Características de um inventário em bracatingais.

Idade (anos)	Altura total (m)	Plantas/ha	DAP médio (cm)	Volume(m <sup>3</sup> /ha)	
				total	IMA
5	12,80	2.350	8,44	83,4	16,68
6	11,84	2.150	9,38	96,1	16,01
7	14,30	1.575	11,58	135,7	19,38
8	13,09	1.675	11,18	115,4	14,42

DAP = diâmetro à altura do peito; IMA incremento médio anual.  
Fonte: EMBRAPA (1988).

Os rendimentos dos bracatingais são variáveis de acordo com o solo, a topografia, idade de corte das árvores, bem como do manejo florestal e tratos culturais durante o crescimento da floresta (ARAÚJO, 2004).

#### **3.6.1.4 Características tecnológicas da madeira de bracatinga**

De acordo com Araújo (2004), a análise do potencial tecnológico da bracatinga representa um grande passo para o uso múltiplo das espécies nativas. Descobrir as suas diferentes potencialidades, estará contribuindo para a preservação da espécie florestal e o plantio em novas áreas para a recuperação de áreas deterioradas, o que no momento se faz muito necessário.

Através da Tabela 5 pode ser observado que a bracatinga apresenta boas propriedades e portanto um grande potencial para utilização em marcenaria e

carpintaria, com um melhor aproveitamento da madeira de baixo custo por metro cúbico agregando um valor maior a espécie e gerando assim maior lucro e um melhor aproveitamento deste material (CALIL JUNIOR e CALIL NETO, 2008).

**Tabela 5** – Propriedades Físicas da Bracatinga

Propriedades	Classes	MPa
Flexão estática	Baixo	77
Módulo de Elasticidade	Médio	14
Compressão Paralela as Fibras	Médio	49
Cisalhamento Paralelo as Fibras	Médio	14
Resistência à Tração	Alta	91

Fonte: Calil Junior e Calil Neto (2008).

Desde o final da década de 80, a madeira de bracatinga já era citada como matéria-prima alternativa para produção de painéis, como na fabricação do aglomerado e compensado (EMBRAPA, 1988).

A escolha da bracatinga se deve a suas características ecológicas, tecnológicas e seu potencial para uso em plantações e em sistemas agroflorestais em pequenas e médias propriedades rurais. Além disso, é uma espécie pioneira e tem rápido crescimento em relação às espécies de florestas nativas do sul do país (ARAÚJO, 2004).

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

Para este trabalho foram realizadas cinco condições de composição do painel, onde todas elas apresentaram dimensões de 400 mm x 400 mm e 15 mm de espessura. As cinco condições de composição da camada interna foram:

Situação 1 – 100% Eucalipto – 0% Bracatinga;

Situação 2 – 75% Eucalipto – 25% Bracatinga;

Situação 3 – 50% Eucalipto – 50% Bracatinga;

Situação 4 – 25% Eucalipto – 75% Bracatinga;

Situação 5 – 0% Eucalipto - 100% Bracatinga.

A proposta de estudo previu somente adição de madeira de bracatinga na camada interna (CI) do painel, onde a camada externa (CE) permaneceu com 100% de *Eucaliptus urogradis* e *Eucaliptus saligna*.

O adesivo utilizado no processo de fabricação das chapas foi resina sintética do tipo uréia-formaldeído. Também foram adicionados os respectivos reagentes:

- agentes impermeabilizantes (emulsão de parafina);
- catalisador para acelerar o processo de cura da resina;
- água para a solubilização da resina.

Após a fabricação dos painéis foram retiradas amostras para a realização de testes de tração perpendicular, flexão estática, umidade residual, densidade, inchamento em espessura e absorção de água. Os valores obtidos foram analisados com base nas especificações da norma ABNT NBR 14.810/2006 e, ainda, com valores de painéis comerciais.

### 4.1 Processamento da bracatinga em partículas menores

Foram obtidas amostras de bracatinga com dimensões aproximadas de 250 mm x 150 mm e 15 mm de espessura, provenientes do estado do Paraná. Estas amostras foram cortadas em tamanho adequados para facilitar a etapa seguinte, ou seja, as partículas foram picadas para reduzir a dimensão da madeira, permitindo

assim que a matéria-prima apresentasse condições para ser processada no moinho do tipo martelo (Figura 9).



Figura 9- Amostras de bracinga cortadas para posterior picagem.

Através de um picador de laboratório (Figura 10 (a)), as amostras cortadas foram processadas e transformadas em cavacos (Figura 10 (b)) e, posteriormente, processadas em moinhos do tipo martelo.



(a) Picador laboratorial

(b) Cavaco de bracinga

Figura 10 – Processamento da bracinga em cavacos.

A Figura 11 ilustra o moinho utilizado na transformação do cavaco em partículas menores, para o processamento da matéria-prima utilizada na formação da camada interna do painel MDP.



Figura 11 - Moinho do tipo martelo para processamento de madeira.

## 4.2 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade buscou verificar a porcentagem de água nas partículas de bracatinga. O teor de umidade das partículas da camada interna (CI) de acordo com a literatura deve ser de 2% a 3%, para que seja possível a sua mistura com as partículas de eucalipto.

Foram colocados aproximadamente 3,0 g de partículas de bracatinga em estufa e, após o término do teste, o valor da umidade das partículas foi indicado no visor do equipamento.

Ao analisar o teor de umidade das amostras de bracatinga através do equipamento ilustrado pela Figura 12, verificou-se que o mesmo encontrava-se acima do recomendado pela literatura, que é de 2 a 3% de umidade para a camada interna do colchão de partículas.

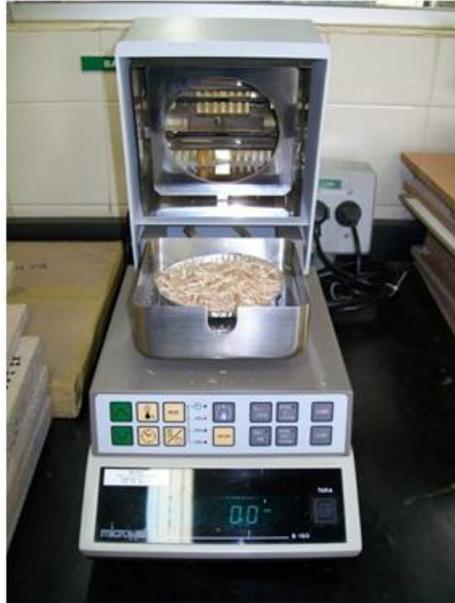


Figura 12 - Equipamento de análise de teor de umidade.

Com a finalidade de reduzir o teor de umidade das partículas de bracatinga, as mesmas foram colocadas em uma estufa a  $103 \pm 2$  °C, dentro de pequenos recipientes de alumínio (Figura 13), para que fosse realizada a secagem das mesmas e monitoradas em intervalos de, aproximadamente, de 10 minutos, verificando assim a sua variação de umidade, até que as partículas atingissem os valores de 2 a 3% de umidade.



Figura 13 - Recipiente de alumínio com cavaco de bracatinga dentro da estufa.

As partículas de bracatinga permaneceram em estufa por, aproximadamente, uma hora até atingirem um teor de umidade de 3,09 %, como exige a norma ABNT NBR 14.810/2006. A Figura 14 ilustra o equipamento Mettler LP 16 com as partículas de bracatinga, onde foi encontrado o teor de umidade de 3,09 %.



Figura 14 - Equipamento para análise do teor de umidade.

### 4.3 Encolamento das partículas

Após atingir o valor de umidade desejado, as partículas de bracatinga foram acrescentadas a encoladeira junto às partículas de eucalipto, ambas com teor de umidade de 3%, em cinco condições diferentes, conforme as situações 1 a 5 apresentadas anteriormente. A quantidade de matéria-prima ideal para compor a camada interna foi calculada utilizando 2,2 kg de cavaco (Figura 15), sendo aproximadamente 1,1 kg para cada corpo-de-prova, conforme proporções de cada condição desejada, a partir de formulação utilizada no processo industrial. As partículas de madeira de bracatinga e de eucalipto foram misturadas e pesadas em suas proporções para, então, serem encoladas. A massa de partículas utilizada para a camada externa foi de 0,5 kg para cada corpo-de-prova, mas foram utilizados 2,0 kg de cavacos para realização dos cálculos e serem encoladas.



Figura 15 - Cavacos de eucalipto e bracinga da camada interna.

As Figuras 16 (a) e (b) ilustram a encoladeira com as partículas que foram misturadas pelo equipamento com a finalidade de homogeneizar a resina aplicada e as partículas de madeira de eucalipto e bracinga.



(a) Encoladeira com partículas sem resina



(b) Encoladeira com partículas com resina

Figura 16 – Processo de encolagem das partículas.

A resina utilizada foi a uréia-formaldeído (coloração branco leitoso), com emulsão de parafina, catalisador e água, com as respectivas dosagens, apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6** - Formulação de cola da CI e CE.

<b>Características da Cola</b>		
Teor de sólidos na Cola (%)	65,00	
Umidade Material (%)	2,71	
Umidade Desejada para o colchão (%)	12,00	
	<b>CE</b>	<b>CI</b>
<b>Cavaco (g)</b>	2000,00	2200,00
<b>Resina (g)</b>	257,97	241,75
<b>Emulsão (g)</b>	25,30	13,47
<b>Catalisador (g)</b>	2,21	17,55
<b>Água (g)</b>	136,89	25,65

A Tabela 6 apresenta os resultados para a formulação da cola para CE e CI, indicados para a fabricação das chapas. As partículas para a formação da CE foram obtidas diretamente da linha já encoladas, lembrando que a dosagem apresentada é a mesma utilizada na linha de produção.

Para a preparação da cola, a resina passou por testes *gel time* para a CI, onde utilizou-se aproximadamente 3,5% de catalisador para reagir em 60 segundos com a resina, emulsão de parafina e água. O *gel time* é o tempo de gelatinização correspondente ao período transcorrido desde a preparação do adesivo para aplicação, que inclui as adições de catalisador, extensores, entre outros aditivos até o “ponto de endurecimento”, ou fase de gel, quando atinge a máxima elasticidade. A Figura 17 ilustra o teste do tempo de gelatinização.



Figura 17 - Teste "Gel Time".

Misturados os reagentes, parafina, resina, catalisador e água, foram acrescentadas as partículas na encoladeira. Com o auxílio de um aspersor e com a encoladeira em movimento foi efetuada a aplicação do adesivo. A Figura 18 ilustra a encoladeira no momento da preparação do aspersor utilizado para a aplicação do adesivo.



Figura 18 - Adesivo sendo aplicado nas partículas pelo aspersor na encoladeira.

A quantidade de material dentro da encoladeira foi suficiente para produção de duas amostras para cada situação estudada, para os painéis de 400 mm de comprimento, por 400 mm de largura e 15 mm de espessura.

#### 4.4 Formação do colchão

Durante a formação do colchão o material foi disposto de forma uniforme, entretanto, ressalta-se que o processo laboratorial dificulta uma perfeita homogeneização. O colchão apresentou composição com partículas de eucalipto com menor granulometria formando a camada externa do colchão e, as partículas de maior granulometria formando a camada interna.

As partículas, relativas a cada camada, foram dispostas manualmente numa caixa formadora de madeira, com o auxílio de uma régua para melhor distribuição das mesmas nas CE e CI. A Figura 19 ilustra a formação da primeira camada do colchão para a formação do painel de MDP na caixa formadora.



Figura 19 - Formação da camada externa do painel de MDP.

Após a formação da camada externa foram adicionadas as partículas da camada interna (Figura 20) e, posteriormente, a formação da última camada, ou seja, a camada externa novamente.

Ressalta-se que as partículas correspondentes a camada externa totalizaram, aproximadamente, 35% da massa total do painel e, conseqüentemente, a 65% correspondente as partículas da camada interna.



Figura 20 - Formação da CI.

#### 4.5 Pré-prensagem do colchão

Após a formação total do colchão de partículas, foi aplicada leve força perpendicular ao painel com o auxílio de uma tampa de madeira. Esse procedimento tem o objetivo de retirar os espaços vazios do meio do colchão e, com isso, melhorar a sua compactação, representando a etapa de pré-prensagem no processo industrial. A Figura 21 ilustra a tampa de madeira utilizada como pré-prensa.



Figura 21 - Tampa de madeira compactando o colchão.

As Figuras 22 (a) e (b) ilustram o colchão após a aplicação da força perpendicular para a retirada de espaços vazios do meio do colchão e, redução da

espessura do mesmo, facilitando a colocação do colchão na prensa e, permitindo melhor acomodação entre as partículas.



(a) Colchão sem a caixa formadora

(b) Colchão pré-prensado

Figura 22 – Colchão após a aplicação da força perpendicular (pré-prensagem).

A Figura 23 ilustra o colchão de partículas após a pré-prensagem, onde procurou-se aproximar ao máximo do processo industrial. O painel pré-prensado apresentou espessura total de aproximadamente 6,5 cm, onde foram 1,0 cm para cada camada externa e 4,5 cm para camada interna. Após a pré-prensagem o colchão apresentou considerável redução de espessura.



Figura 23 - Vista lateral do colchão de partículas.

Terminado o processo de pré-compressão do colchão de partículas, o mesmo foi colocado sobre uma placa de aço para prensagem perpendicular, com o objetivo de consolidar efetivamente o colchão, através da cura efetiva da resina.

## 4.6 Prensagem do colchão

O colchão foi levado para a prensa de laboratório SIRMA para que fosse realizada a prensagem. A Figura 24 ilustra a prensa SIRMA utilizada para fazer o painel de amostra.



Figura 24 - Prensa utilizada para a fabricação dos painéis de amostra.

Nas laterais do colchão foram colocadas duas barras de aço com espessura de 15 mm, com a finalidade de determinar a espessura final do colchão. A Figura 25 ilustra a colocação de espaçadores para a prensagem do colchão.



Figura 25 - Colchão com as barras laterais sendo levado à prensa.

A compressão produz, inicialmente, uma deformação das partículas por flexão, aumentando assim a superfície de contato entre elas.

O tempo da prensagem foi de 162 segundos, divididos em três etapas:

- 1- Densificação do colchão de partículas.
- 2- Consolidação do colchão de partículas.
- 3- Redução da pressão e, posteriormente, a abertura da prensa.

Os valores das pressões aplicadas referentes a todas as amostras (situação de 1 a 5) estão apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7** - Variáveis utilizadas na prensagem do colchão, para todas as situações.

<b>Variáveis na Prensagem do colchão Eucalipto/bracatinga</b>			
<b>Valores referentes à todas as situações (amostras)</b>		<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Ciclo Prensagem		2	-
Temperatura Prensagem		195	(°C)
Tempo Total Prensagem		162	(seg)
Tempo Específico		9,1	(seg/mm)
Pressão Específica	1° Patamar	27,1	(Kgf/cm <sup>2</sup> )
	2° Patamar	22,3	(Kgf/cm <sup>2</sup> )
	3° Patamar	17,3	(Kgf/cm <sup>2</sup> )

A Figura 26 ilustra a prensagem do colchão, indicando os limitadores de espessura. Observa-se que com o fechamento da prensa, o tamanho do colchão de partículas foi diminuindo, até um limite estabelecido pelas barras de aço colocadas na lateral do colchão.



Figura 26 – Fechamento completo da prensa (15 mm).

As chapas produzidas ficaram por aproximadamente sete dias em uma sala para sua climatização em temperatura ambiente. Depois deste período, foram realizados testes para a determinação das propriedades físicas e mecânicas.

Foram realizados os seguintes ensaios: densidade, tração perpendicular, flexão estática, inchamento em espessura, absorção em água e umidade residual, todos com base na norma brasileira apresentada NBR 14.810/2006, além do teste de granulometria das partículas.

## **4.7 Ensaios**

Com o objetivo de aproximar o estudo ao panorama real da indústria, foram realizados ensaios físicos e mecânicos para as amostras produzidas, testes iguais aos ensaios realizados na maioria das indústrias de painéis de MDP no Brasil. Os testes realizados foram: densidade, tração perpendicular, flexão estática (MOR), inchamento em espessura (2 horas), absorção em água (2 horas), umidade residual e espessura final. O teste de granulometria do cavaco também foi feito em todas as situações, para melhor análise dos resultados dos ensaios.

As amostras utilizadas nos ensaios atenderam as recomendações da norma ABNT 14810/2006, para painéis de madeira aglomerada.

A Figura 27 ilustra a programação de retirada das amostras para a realização dos ensaios.

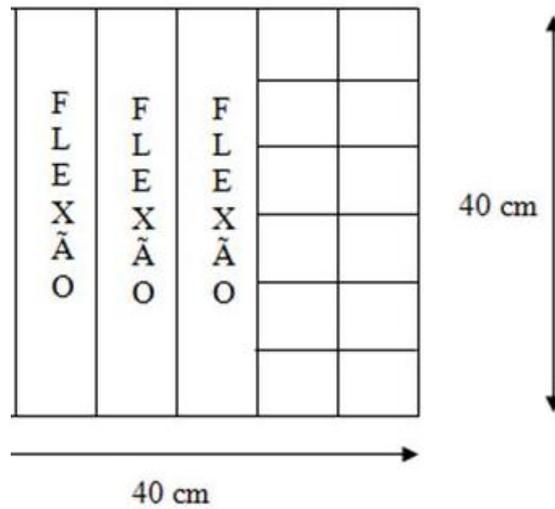


Figura 27 – Distribuição dos cortes feitos no painel.

A Figura 28 ilustra as amostras utilizadas para ensaios físicos e mecânicos, sempre atendendo as especificações normativas.



Figura 28 – Amostras utilizadas nos ensaios.

Os itens a seguir descrevem de forma sucinta os ensaios realizados para caracterização físico-mecânica do painel MDP.

### 4.7.1 Teste de granulometria e razão de esbeltez (RE) das partículas

O teste de granulometria do cavaco é realizado a partir de peneiras vibratórias que as classificam em função de suas dimensões. O conjunto caracteriza-se por peneiras dispostas verticalmente e intercaladas com diferentes malhas, variando de 4,76 à 0,149 mm e fundos. As malhas diminuem da peneira superior para as inferiores, de forma a quantificar e controlar a formação de partículas maiores e/ou menores no processo. Estas peneiras, associadas ao movimento vibratório ou giratório, separam as partículas que irão compor as diferentes camadas do painel.

Como mencionado anteriormente, a etapa de processamento da madeira e obtenção das partículas é uma fase importante do processo e necessita ser controlada. A granulometria das partículas utilizadas está diretamente relacionada a razão de esbeltez das partículas que influenciam significativamente a qualidade dos painéis, como: propriedades mecânicas e dimensionais, características da superfície e borda do painel em termos de acabamento, aplicação de materiais de revestimento e usinabilidade.

A razão de esbeltez foi calculada utilizando a Equação (1), de acordo com a literatura:

$$RE = \frac{C}{e} \quad (1)$$

Onde:

RE é a razão de esbeltez, adimensional;

C é o comprimento da partícula, em mm;

e é a espessura da partícula, em mm.

A determinação da razão de esbeltez é um teste bastante simples que requer apenas o uso de micrômetro e, através da medição do comprimento e espessura da partícula, é possível obter o valor da razão de esbeltez.

### 4.7.2 Ensaio de densidade

Foram utilizadas 6 amostras de 50 mm x 50 mm por 15 mm de espessura, como especificado em norma. Inicialmente, com o auxílio da balança analítica, foram obtidos os pesos das amostras e com o paquímetro digital foram medidos o comprimento, a largura e a espessura, sempre em conformidade com a norma ABNT NBR 14.810/2006. A Figura 29 ilustra o paquímetro utilizado para medir as dimensões das amostras para a realização dos ensaios.



Figura 29 - Paquímetro digital utilizado nos teste para medir as dimensões das amostras.

A densidade foi calculada com a utilização da Equação (2), de acordo com a norma ABNT NBR 14.810/2006.

$$D = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Onde:

D é a densidade do painel, em kg/m<sup>3</sup>;

M é a massa do painel, em kg;

V é o volume do painel, obtido através do comprimento, largura e espessura do painel, em m<sup>3</sup>;

### 4.7.3 Ensaio de tração perpendicular

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca EMIC, a partir da metodologia de ensaio descrita na norma ABNT NBR 14.810/2006. A Figura 30 ilustra a máquina universal de ensaios utilizada no trabalho.



Figura 30 – Máquina universal de ensaios – marca EMIC.

Foram cortados seis corpos-de-prova com dimensões de 50 X 50 mm com espessura de 15 mm. Em seguida, foi acrescentado adesivo na superfície dos corpos-de-prova. Posteriormente foram colocados acessórios de ensaios em contato com este adesivo, para que o mesmo se fixasse na superfície das amostras. As Figuras 31 (a) e (b) ilustram os corpos-de-prova e o dispositivo para o ensaio de tração perpendicular, ou conhecido também como ensaio de adesão interna.



(a) Amostras dos ensaios  
 Figura 31 – Ensaio de tração perpendicular.

(b) Dispositivos utilizados para o ensaio

O cálculo do valor da resistência à tração perpendicular obtido no ensaio de adesão interna foi realizado através da Equação (3), conforme norma ABNT NBR 14.810/2006.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Onde:

P é a carga na ruptura, kgf/cm<sup>2</sup>;

S é a área da superfície do corpo-de-prova, cm<sup>2</sup>;

#### 4.7.4. Ensaio de flexão estática

No ensaio de flexão foram utilizados três corpos-de-prova com dimensões de 200 x 50 mm retirados das amostras (painéis produzidos). Os corpos-de-prova foram ajustados no equipamento de ensaio apoiados em dois suportes, sendo que o comprimento do vão é de 10 vezes a dimensão da espessura, onde a força aplicada perpendicular ao plano do corpo-de-prova foi aplicada no centro da amostra, de acordo com a norma ABNT NBR 14.810/2006. A Figura 32 ilustra o ensaio de flexão estática, conforme as especificações normativas mencionadas anteriormente.



Figura 32 – Ensaio de flexão estática realizado para a determinação do módulo de elasticidade e ruptura.

O cálculo da resistência à flexão do corpo-de-prova foi realizado a partir da Equação (4), conforme norma ABNT NBR 14.810/2006.

$$\text{MOR} = \frac{1,5x(PxD)}{Bx(E)^2} \quad (4)$$

Onde:

P é a carga de ruptura lida no indicador de carga, kgf/cm<sup>2</sup>;

D é a distância entre apoios do aparelho, em milímetros;

B é a largura do corpo-de-prova, em milímetros;

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova, em milímetros.

#### **4.7.5 Ensaio de inchamento em espessura**

O ensaio de inchamento em espessura foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 14.810/2006. Foram retiradas de cada uma das chapas para as situações estudadas, cinco amostras com dimensões de 10 x 10 mm. Os corpos-de-prova foram medidos com o auxílio de um micrômetro e, logo em seguida, foram colocados em um equipamento de banho termostatizado, com a temperatura de

20°C por um tempo de 2 horas  $\pm$  3 minutos. Decorrido este tempo as amostras foram retiradas.

Em seguida, foram medidas novamente suas dimensões com o auxílio do micrômetro, onde as novas medidas foram anotadas e utilizadas para a realização do cálculo da porcentagem de inchamento em espessura sofrido pelos corpos-de-prova.

A Figura 33 ilustra a amostra utilizada no ensaio, sendo medida com o auxílio do micrômetro.



Figura 33 – Medição com micrômetro do corpo-de-prova de inchamento.

Segundo recomendações normativas, os valores de inchamento devem estar abaixo dos 8%, em relação às medidas iniciais encontradas.

O cálculo do inchamento do corpo-de-prova foi realizado através da Equação (5), conforme a norma ABNT NBR 14.810/2006.

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

I é o inchamento em espessura do corpo-de-prova, em porcentagem;

E1 é a espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado, em milímetros;

E0 é a espessura do corpo-de-prova antes da imersão, em milímetros.

#### 4.7.6 Ensaio de absorção em água

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 14.810/2006. Foram obtidas cinco amostras de cada chapa com dimensões de 10 x 10 mm e, em seguida, pesadas em uma balança digital. Na seqüência, foram colocadas em um equipamento de banho termostático, com a temperatura de 20 °C por um tempo de 2 horas ± 3 minutos. Decorrido este tempo as amostras foram retiradas.

Retiradas as amostras do equipamento, foram pesadas novamente, onde as novas massas foram anotadas e utilizadas para a realização do cálculo da porcentagem de absorção sofrida pelos corpos-de-prova, através da Equação (6).

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

M1 é a massa do corpo-de-prova após imersão, em gramas;

M0 é a massa do corpo-de-prova antes da imersão, em gramas.

#### 4.7.7 Umidade residual

A umidade residual ou teor de umidade é a porcentagem de água despreendida do corpo-de-prova de uma chapa de madeira aglomerada, quando a mesma é submetida a uma temperatura de (103 ± 2)°C, até a massa tornar-se constante. A porcentagem é tomada em relação à base seca.

A aparelhagem necessária à execução do ensaio é uma balança com resolução de 0,1 g, estufa com termostato regulador e dessecador.

Primeiramente, determinou-se a massa úmida, sendo inicialmente pesados os corpos-de-prova individualmente e, os dados foram anotados como sendo massa

úmida. Depois colocou-se os corpos-de-prova em estufa mantida a  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  até obter-se a massa constante. Esta foi considerada constante quando, passadas 4h da introdução na estufa, a mesma não variou mais que 0,1%. Logo após a retirada dos corpos-de-prova da estufa, os mesmos foram resfriados em dessecador. Em seguida, pesados individualmente e anotados como massa seca.

Para a realização do cálculo, utilizou-se a Equação (7).

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (7)$$

onde:

U é a umidade residual do corpo-de-prova, em porcentagem;

MU é a massa úmida do corpo-de-prova, em gramas;

MS é a massa seca do corpo-de-prova, em gramas.

O resultado deve ser referente à média dos corpos-de-prova analisados, expresso em porcentagem, com exatidão de 0,1%.

#### 4.7.8 Espessura final

A espessura final do painel foi determinada com um medidor de espessura com resolução de 0,1 mm.

Para a mediação da espessura da chapa deve seguir as etapas descritas a seguir:

a) levar o medidor de espessura até a borda da chapa, numa posição nunca inferior a 20 mm desta borda, de modo que o ponto a ser medido esteja situado entre a base inferior e a base superior do aparelho de medição;

b) pressionar a cabeça da haste do medidor de espessura até que a base superior encoste na superfície da chapa e efetuar a leitura;

c) efetuar as operações de a) e b) nos seis pontos indicados na Figura 34, sendo quatro pontos nos cantos e dois pontos intermediários ao longo do comprimento das chapas, no sentido longitudinal.

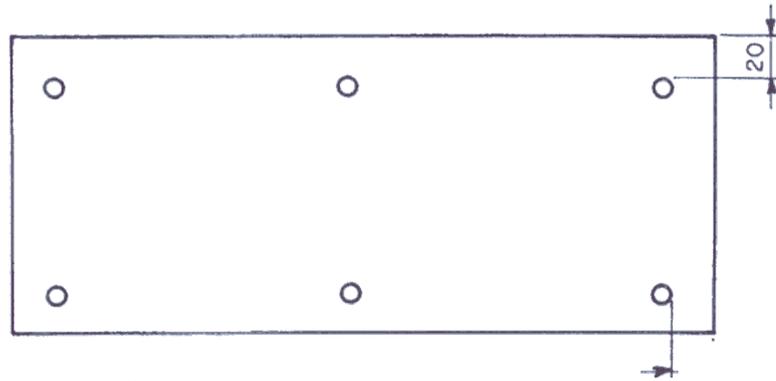


Figura 34 - Pontos da superfície da chapa adotados para a determinação da espessura

O valor deve ser a média dos seis pontos avaliados, conforme leitura obtida pelo medidor de espessura, registrada em milímetros, com exatidão de 0,1 mm.

Antes da realização dos ensaios descritos foi aferida a espessura dos painéis para verificar se não haviam alterações das mesmas devido à adição da bracing em relação ao painel de 100% de eucalipto com a mesma pressão aplicada.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir estão apresentadas as análises dos resultados dos ensaios realizados neste trabalho.

### 5.1 Teste de granulometria e razão de esbeltez (RE) das partículas

A Tabela 8 apresenta os valores de granulometria do cavaco obtidos em todas as situações. Pelos dados apresentados verifica-se que a situação 5 foi bastante crítica quanto a porcentagem de partículas de maiores, ou seja, retidas nas malhas 4,76 mm. A ausência de partículas com maior granulometria influenciou diversos resultados obtidos nos ensaios realizados que serão melhor descritos nos itens seguintes.

**Tabela 8** - Valores médios encontrados nos testes de granulometria.

Malha [mm]	Gramatura das Partículas [%]							
	4,76	2,38	1,41	0,84	0,42	0,30	0,149	Fundo
<b>Situação 1</b> 100% eucal 0% bracad	79,70	1,19	4,46	5,84	7,52	0,89	0,40	0,00
<b>Situação 2</b> 75% eucal 25% bracad	76,46	1,88	5,84	9,20	5,74	0,59	0,30	0,00
<b>Situação 3</b> 50% eucal 50% bracad	57,31	3,90	11,89	18,13	7,70	0,58	0,49	0,00
<b>Situação 4</b> 25% eucal 75% bracad	43,49	7,31	10,92	22,41	14,15	1,14	0,57	0,00
<b>Situação 5</b> 0% eucal 100% bracad	1,09	2,08	15,97	40,67	28,57	4,66	5,26	1,69

Através da Figura 35 pode-se observar a porcentagem das partículas de bracinga em cada situação para cada uma das malhas das peneiras analisadas neste trabalho. Verifica-se que a situação 1 foi a que apresentou maior concentração de partículas com maior granulometria e a situação 5 é a que apresentou maior concentração de partículas menores.

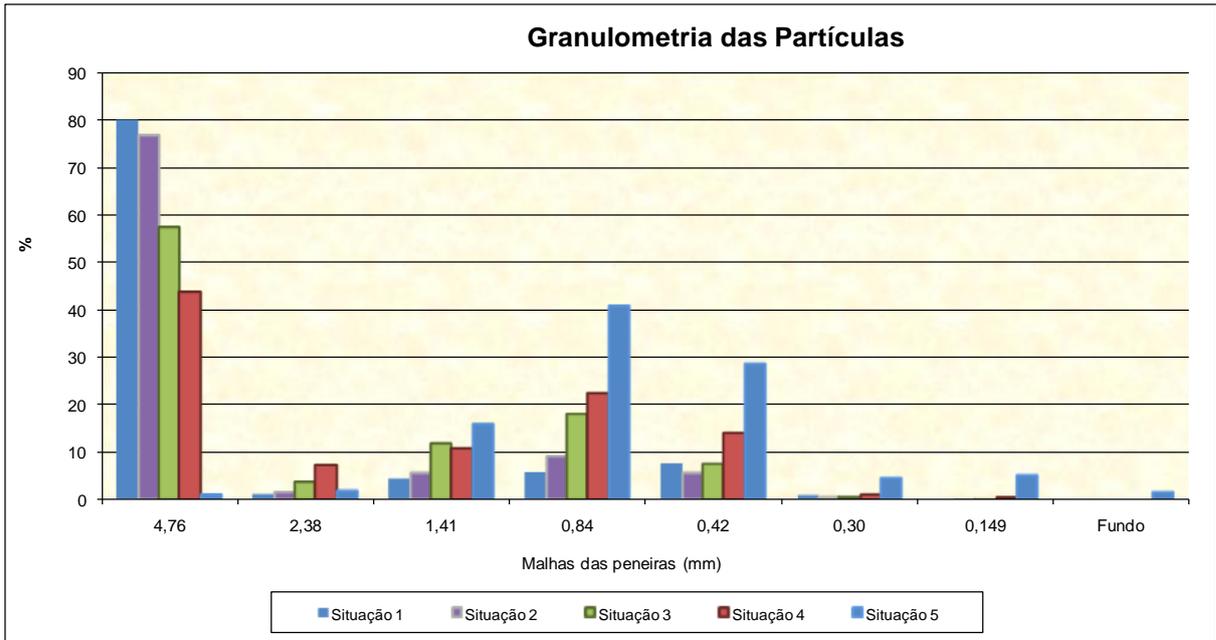


Figura 35 – Variação da granulometria das partículas para todas as situações estudadas.

Esta variação da granulometria para todas as situações está diretamente relacionada com o processo de moagem das matérias-primas, pois foram processadas em equipamentos diferentes, conseqüentemente, com diferentes ajustes que proporcionaram dimensões diversas para as partículas processadas. O cavaco de bracatinga foi processado em um moinho do tipo martelo de uso laboratorial, gerando partículas de menores dimensões, e o cavaco de eucalipto foi processado em um moinho de escala industrial em uma indústria de MDP, gerando partículas de maiores dimensões.

Com a variação da granulometria, pode ocorrer maior ou menor necessidade de adesivo para cada situação estudada e, conseqüentemente, esta variação irá influenciar nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos, a partir da área de contato total das partículas utilizadas.

É importante ressaltar que as medições realizadas para a razão de esbeltez (RE) das partículas foram analisadas separadamente, ou seja, para a partícula de eucalipto e para a partícula de bracatinga em momentos distintos.

As partículas de eucalipto apresentaram RE de 100, já as partículas de bracatinga apresentaram RE de 45, estando as partículas de eucalipto dentro do recomendado pela literatura para CI que é de 60 à 120 e as partículas de bracatinga fora do recomendado.

Como as partículas de bracinga apresentaram RE de 45, a menor relação entre as dimensões pode ter influenciado de forma negativa a prensagem do painel, interferindo também nas propriedades físicas e mecânicas.

A RE da camada externa apresentou valor de 160, estando dentro da literatura para CE que é de 120 à 200.

## 5.2 Ensaio de densidade

A Tabela 9 apresenta os valores das densidades e desvios obtidos em todas as situações estudadas. A densidade do painel para todas as situações encontra-se dentro da faixa indicada pela literatura para painel de média densidade, ou seja, entre 0,59 e 0,80 g/cm<sup>3</sup> (IWAKIRI, 2005).

**Tabela 9** - Valores médios encontrados nos ensaios de densidade.

<b>Ensaio de Densidade</b>					
	<b>Situação 1</b>	<b>Situação 2</b>	<b>Situação 3</b>	<b>Situação 4</b>	<b>Situação 5</b>
	100% eucal 0% bracat	75% eucal 25% bracat	50% eucal 50% bracat	25% eucal 75% bracat	0% eucal 100% bracat
Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	614	605	629	615	623
Desvio Padrão	8	7	10	4	6
Nº de Amostras	6	6	6	6	6

Através da Figura 36 pode-se observar um leve aumento nos valores médios da densidade, para quase todas as situações, com o aumento da porcentagem de bracinga no painel MDP.

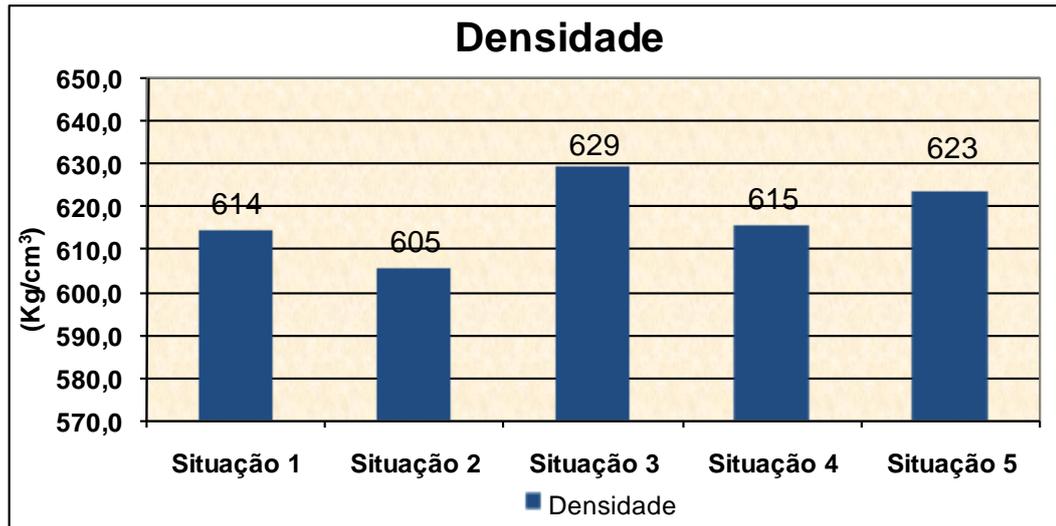


Figura 36: Densidade das amostras dos painéis MDP produzidos.

A grande concentração de partículas maiores resultou em um painel com maior quantidade de espaços vazios e, conseqüentemente, menor densidade do mesmo. Fato amplamente difundido em estudos de RE.

Na situação 3 da Figura 35, pode-se observar uma distribuição mais homogênea das partículas nas diferentes granulometrias, permitindo maior densidade ao painel. A situação 5 não apresentou maior densidade, apesar de possuir as menores partículas e, conseqüentemente, maiores áreas superficiais de contato para a colagem, pela quantidade de resina ter sido padronizada para todas as situações, de forma direta pode-se dizer que houve falta de resina na situação 5, onde trabalhou-se com partículas menores. A maior incidência de partículas menores na situação 5, não foi suficiente para apresentar um painel mais denso devido a necessidade de mais adesivo requerida a partir de maior área superficial de contato.

### 5.3 Ensaio de tração perpendicular

A Tabela 10 apresenta os valores obtidos para os ensaios de tração perpendicular, conhecido também como adesão interna. Para todas as situações estudadas a resistência a tração perpendicular foi atendida, pois a norma brasileira especifica um valor mínimo de 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabela 10** - Valores médios encontrados nos ensaios de tração perpendicular.

<b>Ensaio de Tração Perpendicular</b>					
	<b>Situação 1</b>	<b>Situação 2</b>	<b>Situação 3</b>	<b>Situação 4</b>	<b>Situação 5</b>
	100% eucal 0% bracat	75% eucal 25% bracat	50% eucal 50% bracat	25% eucal 75% bracat	0% eucal 100% bracat
Tração Perpendicular [kgf/cm <sup>2</sup> ]	6,6	7,2	7,2	7,1	7,4
Desvio Padrão	0,7	0,5	0,7	0,7	0,8
N° de Amostras	6	6	6	6	6

Através da Figura 37 pode-se observar um leve aumento dos valores médios, para quase todas as situações, da resistência à tração perpendicular com o aumento da porcentagem de bracatinga no painel MDP.

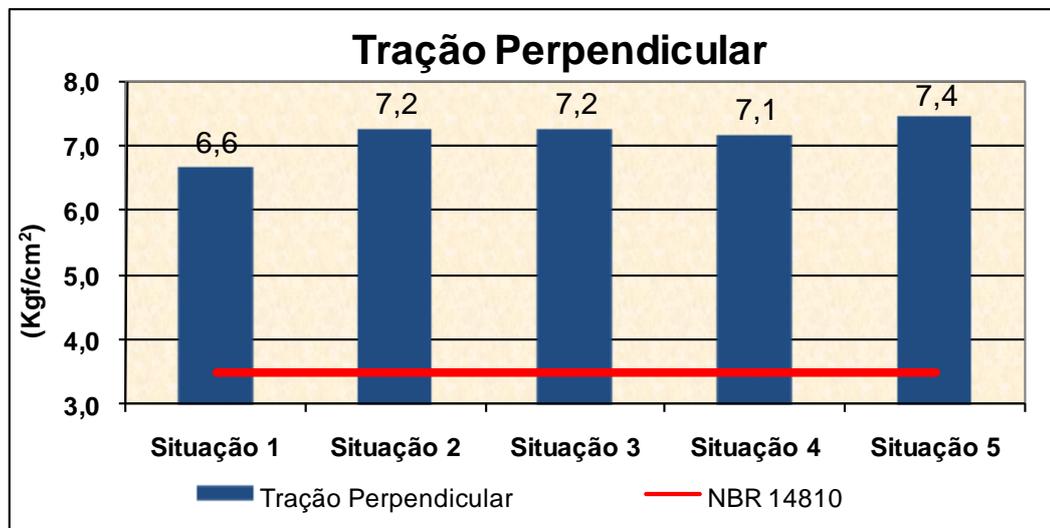


Figura 37 – Resistência à tração perpendicular das amostras dos painéis MDP produzidos.

Observou-se que com o aumento da porcentagem de partículas de menor granulometria, houve na média, uma considerável elevação nos resultados de resistência à tração perpendicular, ou seja, a adesão interna do painel é melhor utilizando partículas menores, pois verifica-se menos vazios e, melhor interação entre as mesmas, embora a quantidade de adesivo não tenha sido alterada. Caso a quantidade de adesivo na situação 5 fosse maior, a tendência seria que o resultado de adesão interna fosse ainda melhor, devido maior interação entre as partículas, permitindo ainda maior interação entre a superfície de contato entre as partículas de menor granulometria.

Na situação 1 verificou-se grande porcentagem de partículas de 4,76 mm, resultando em um painel com maior porcentagem de partículas de maior

granulometria e, conseqüentemente, maior quantidade de vazios, proporcionado pela pior interação entre as partículas e pior resistência à tração perpendicular do painel.

De modo geral, a tendência que os painéis particulados seguem é que quanto maior a porcentagem de matéria-prima com maior granulometria, menor será a resistência do painel à tração perpendicular, devido à maior quantidade de vazios.

Os valores encontrados em todas as cinco situações estudadas foram maiores dos que estabelecidos na norma NBR 14.810/2006, conforme indica a Figura 37, permitindo concluir que todas as situações poderiam ser adotadas.

#### 5.4 Ensaio de flexão estática

O ensaio de flexão estática foi realizado seguindo a norma NBR 14.810/2006. A Tabela 11 apresenta os valores obtidos no ensaio de flexão estática para a determinação do MOR. A partir dos resultados apresentados pode-se verificar que a adição de partículas de bracinga diminuiu os valores médios encontrados para a resistência do painel. Tal afirmação pode ser justificada pela menor granulometria das partículas de bracinga.

**Tabela 11** - Valores médios do MOR.

<b>Ensaio de Flexão Estática - MOR</b>					
	<b>Situação 1</b>	<b>Situação 2</b>	<b>Situação 3</b>	<b>Situação 4</b>	<b>Situação 5</b>
	100% eucal 0% bracat	75% eucal 25% bracat	50% eucal 50% bracat	25% eucal 75% bracat	0% eucal 100% bracat
Flexão Estática [kgf/cm <sup>2</sup> ]	151	145	139	75	50
Desvio Padrão	10	15	4	5	11
Nº de Amostras	3	3	3	3	3

Através da Figura 38 pode-se observar uma redução nos valores médios encontrados para o módulo de ruptura do painel quando aumentou-se a porcentagem de partículas de bracinga na camada interna do painel MDP.

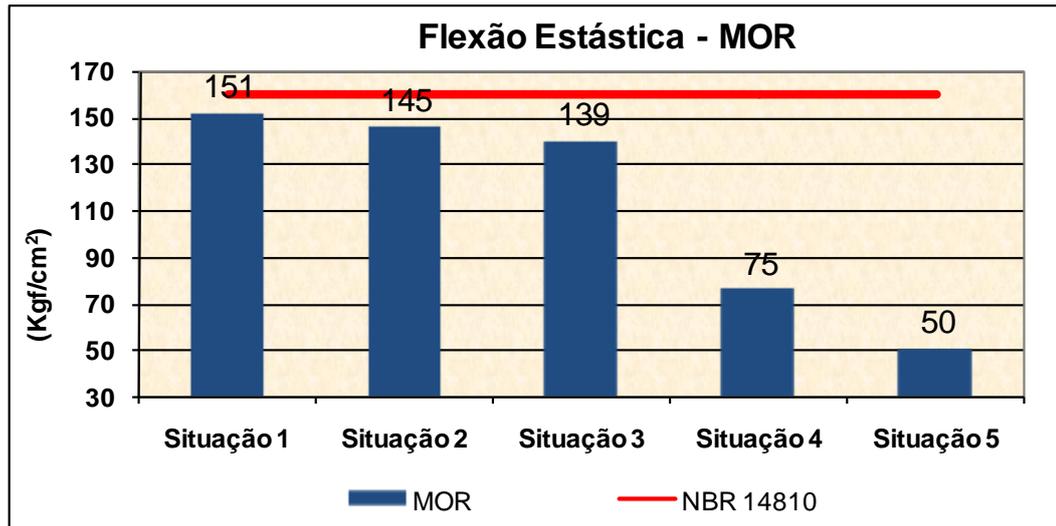


Figura 38 – Flexão estática MOR das amostras dos painéis MDP produzidos.

Verifica-se que para a situação 1 obteve-se o melhor resultado do módulo de ruptura, isto pode ser explicado pela alta porcentagem de partículas com maior granulometria, ou seja, quanto maior o comprimento das partículas dispostas ao longo da espessura do painel, maior a sua resistência à aplicação de um esforço. Tal afirmação pode ser justificada pois quanto maior às dimensão das partículas na direção perpendicular às fibras da madeira, maior área de contato à força aplicada, na direção em que a madeira apresenta melhor desempenho mecânico (IWAKIRI, 2005).

A situação 5 teve um resultado muito ruim devido a ausência de porcentagem de partículas com granulometria de 4,76 e 2,38 mm, ou seja, partículas de maior dimensão utilizadas nas demais situações.

Com base na literatura, o melhor resultado para o MOR ocorre em painéis com maior concentração de partículas com maior granulometria, com mencionado anteriormente. Cabe ressaltar, que nem todas as propriedades do painel são melhoradas com partículas de maior granulometria, como mencionado no item 6.3.

É importante salientar que para todas as situações os resultados médios encontrados para o MOR não satisfaz a norma NBR 14.810/2006, conforme mostra a Figura 38. O não atendimento aos resultados normativos pode ser justificado pela dificuldade de produção em laboratório, onde as principais variáveis de processo, ou seja, tempo, temperatura e pressão, são difíceis de serem controladas, como no processo industrial. Outro fator é a retirada dos corpos de prova, onde os mesmos

foram tirados ao longo de todo o painel, e não somente da região central, como indica a norma NBR 14.810/2006.

## 5.5 Ensaio de inchamento

A Tabela 12 apresenta os valores obtidos nos ensaios de inchamento em espessura realizados para as todas as situações. A norma brasileira NBR 14.810/2006 considera como porcentagem máxima de inchamento em espessura para os painéis de MDP é de 8,0 % após duas horas imerso em água.

**Tabela 12** - Valores médios encontrados no ensaio de inchamento.

<b>Ensaio de Inchamento - 2h</b>					
	<b>Situação 1</b>	<b>Situação 2</b>	<b>Situação 3</b>	<b>Situação 4</b>	<b>Situação 5</b>
	100% eucal 0% bracad	75% eucal 25% bracad	50% eucal 50% bracad	25% eucal 75% bracad	0% eucal 100% bracad
Inchamento [%]	7,9	7,6	7,2	8,1	6,7
Desvio Padrão	0,2	0,5	0,4	0,8	0,7
N° de Amostras	4	4	4	4	4

Através da Figura 39 verifica-se uma diminuição dos valores médios encontrados para o inchamento das chapas com o aumento da porcentagem de partículas de bracinga no painel MDP.

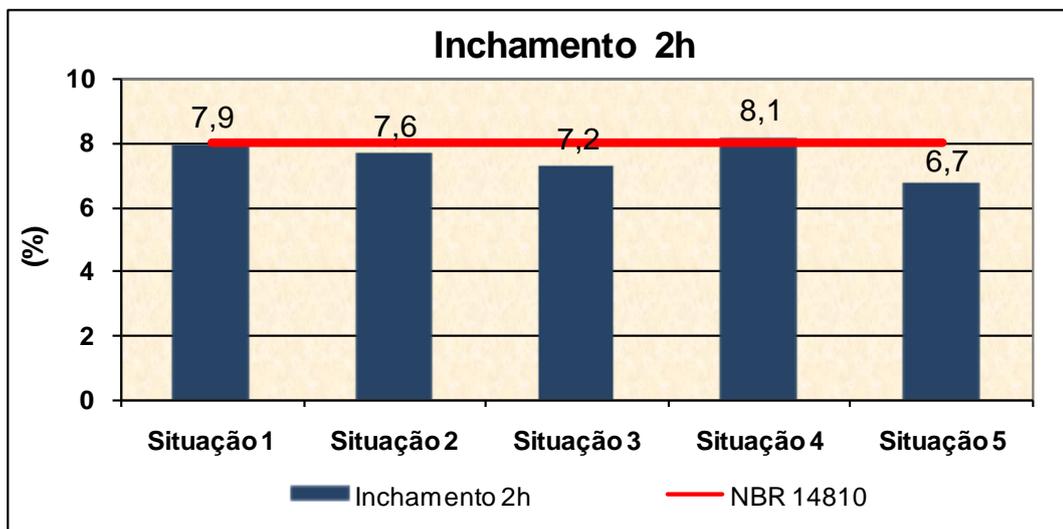


Figura 39 – Inchamento das amostras dos painéis MDP produzidos.

De acordo com a literatura os resultados para ensaios de inchamento em espessura de painel de partículas não devem ultrapassar 8 a 12%. E como pode-se observar na Figura 39, a maioria dos valores obtidos mostraram-se satisfatórios atendendo as especificações mínimas indicadas na norma NBR 14.810/2006, onde o inchamento encontra-se em torno de 8%.

Destaca-se ainda que a situação 4 apresentou alta concentração de partículas com granulometria de 2,38 mm, aumentando a quantidade de vazios no painel e resultando em maior inchamento do painel. Em relação ao inchamento, esperava-se que quanto menor as dimensões das partículas, menor seria a quantidade de vazios e menor seria o inchamento, como comprovam as situações 1, 2, 3, e 5.

De acordo com a literatura, em situações em que a granulometria das partículas aumenta, verifica-se maior inchamento pela maior existência de vazios.

## 5.6 Ensaio de absorção de água

A Tabela 13 apresenta os valores obtidos para as todas as situações estudadas nos ensaios de absorção após imersão em água por duas horas.

**Tabela 13** - Valores médios encontrados no ensaio de absorção de água.

<b>Ensaio de Absorção em Água - 2h</b>					
	<b>Situação 1</b>	<b>Situação 2</b>	<b>Situação 3</b>	<b>Situação 4</b>	<b>Situação 5</b>
	100% eucal 0% bracat	75% eucal 25% bracat	50% eucal 50% bracat	25% eucal 75% bracat	0% eucal 100% bracat
Absorção em Água [%]	28,2	28,1	30,1	33,8	34,5
Desvio Padrão	1,8	1	0,7	3,1	2,5
N° de Amostras	4	4	4	4	4

Os resultados dos ensaios de absorção de água para chapas de partículas aglomeradas devem apresentar valor máximo de 35%, segundo especificação da norma NBR 14.810/2006, e como pode-se observar os valores de todas as situações não ultrapassaram o valor máximo.

Através da Figura 40 verifica-se um maior valor médios dos resultados encontrados para absorção de água nas chapas com maior porcentagem de

partículas de bracinga. Tais resultados podem ser justificados pela diferença das características das matérias-primas utilizadas.

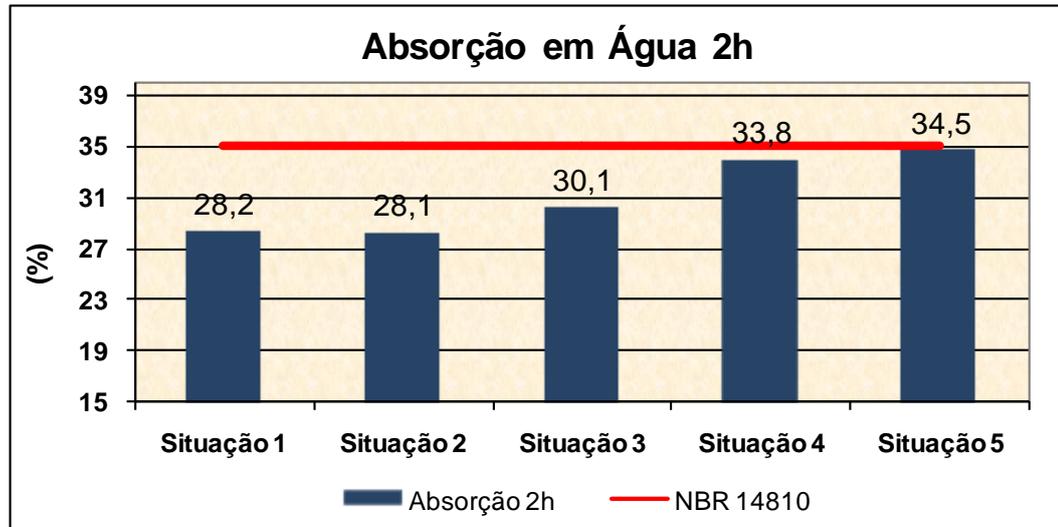


Figura 40 – Absorção em água das amostras dos painéis MDP produzidos.

Considerando os resultados de absorção para os painéis comerciais com os painéis produzidos neste trabalho, verifica-se, que os valores obtidos foram maiores, porém, dentro do aceitável. Com o aumento de partículas de bracinga na CI, as chapas tenderam a absorver mais água. Isto, provavelmente, ocorreu devido a existência de maior concentração de casca nas partículas de eucalipto e, inexistência de casca nas partículas de bracinga. O cavaco de eucalipto obtido ao longo do processo industrial apresenta aproximadamente 10% de casca, já a matéria-prima de bracinga utilizada neste estudo apresentou 0% de casca, pois a madeira utilizada era proveniente de tábuas isentas de cascas.

Cabe ressaltar que a casca da madeira impede a absorção de água, ou seja, a casca existente nas partículas de eucalipto serviu como barreira física à absorção de água pelo painel.

Segundo Kollmann (1975) quanto maior a quantidade de casca, menor será a absorção do painel, ou seja, menor será seu peso (massa), e isto foi comprovado no presente estudo.

## 5.7 Ensaio de Umidade Residual

A Tabela 14 apresenta os valores obtidos nos ensaios de umidade residual realizados para todas as situações. A norma brasileira NBR 14.810/2006 admite valores de umidade residual entre 5 e 11%.

**Tabela 14** - Valores médios encontrados no ensaio de umidade residual.

Ensaio de Umidade Residual					
	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4	Situação 5
	100% eucal 0% bracat	75% eucal 25% bracat	50% eucal 50% bracat	25% eucal 75% bracat	0% eucal 100% bracat
Umidade Residual [%]	7,6	7,8	7,8	7,5	7,6
Desvio Padrão	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
Nº de Amostras	4	4	4	4	4

Através da Figura 41 verifica-se uma não interferência dos resultados médios da umidade residual das chapas com o aumento da porcentagem de bracatinga no painel MDP.

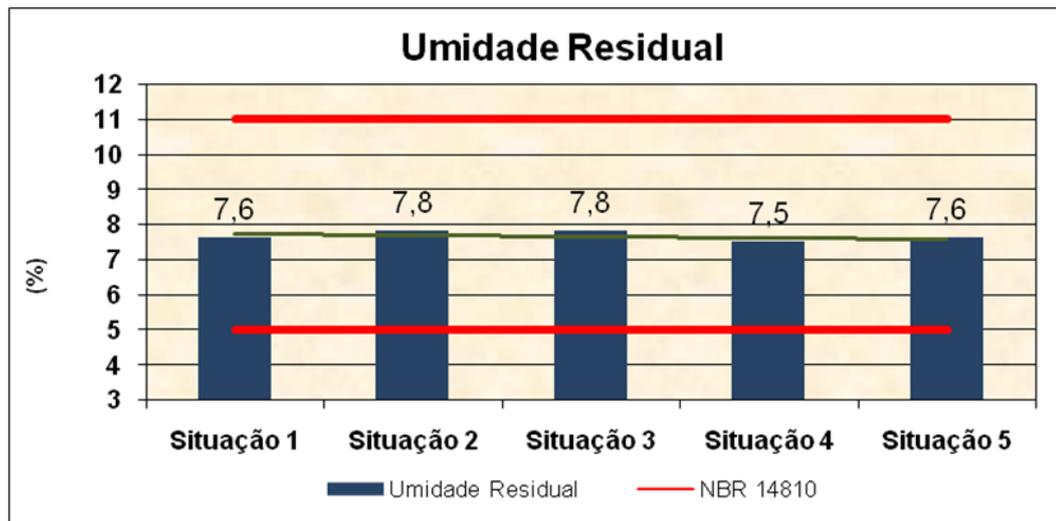


Figura 41 – Umidade residual das amostras dos painéis MDP produzidos.

A variação da porcentagem de partículas de bracatinga na CI não sofreu interferência na umidade residual final das chapas produzidas, mantendo-se dentro da especificação da NBR 14.810/2006. Tais valores podem não ter sofrido grande influência pois, após os sete dias referente ao período de acondicionamento, os painéis já encontram-se em estabilidade com o ambiente, não absorvendo grandes teores de umidade.

## **5.8 Ensaio de espessura final**

O ensaio de espessura final do painel não foi realizado para os corpos de prova devido a não necessidade do mesmo, pois quando as chapas foram prensadas, no laboratório, já havia réguas (barras de metal) de cada lado da chapa a ser prensada, com o objetivo de controlar a espessura final do painel. Estas réguas, como já dito anteriormente, possuíam espessura de 15 mm, que é a espessura final do painel.

Este método de “espessura final” foi explicado no item 4.7.8 por ser um ensaio realizado em fábricas produtoras de MDP no Brasil, já que a espessura das chapas produzidas em indústrias é controlada somente por variáveis como pressão aplicada, temperatura e tempo de prensagem, não havendo estas barras de metal para o controle de espessura, como no laboratório.

## 7. CONCLUSÃO

Como conclusão geral do trabalho, pode-se afirmar que a madeira de bracatinga tem condições de ser utilizada como matéria-prima alternativa em misturas com eucalipto na fabricação do painel MDP.

Destaca-se ainda que o uso da madeira de bracatinga como matéria-prima constituinte da camada interna do painel tende a apresentar melhores resultados caso a granulometria das mesmas seja maior, seguindo a mesma porcentagem granulométrica utilizada para o eucalipto.

Considerando a granulometria utilizada neste estudo, pode-se concluir que a adição de madeira de bracatinga em até 50% do peso das partículas constituintes da CI, não apresentou diferenças significativas nas propriedades físicas e mecânicas do painel. O aumento na proporção de madeira de bracatinga pode gerar alguns prejuízos em algumas propriedades, como o módulo de ruptura e absorção em água, mas ganha-se em densidade, resistência à tração perpendicular e inchamento em espessura do painel de MDP. A variação da porcentagem de partículas de bracatinga não interferiu na umidade residual final das chapas produzidas.

Pela maior densidade básica, a bracatinga oferece a vantagem de menor consumo de volume de madeira por m<sup>3</sup> de MDP produzido, o que pode ser útil em fábricas que estejam com gargalos de produção devido à alimentação de madeira. Outro fator relevante ao uso da bracatinga refere-se ao seu rápido crescimento amplamente interessante para a indústria de painéis, visto que a mesma tem grande necessidade de obtenção de matéria-prima de rápido crescimento e sustentável.

Atualmente observa-se pouco interesse no uso da madeira de bracatinga em termos de utilização na produção de MDP, não sendo competitiva com a madeira de eucalipto em curto prazo. Entretanto, ela pode ser uma interessante fonte alternativa complementar, principalmente, pensando em situações em que a madeira de eucalipto esteja em processo de escassez, ou não atendendo a demanda industrial.

Como as partículas de bracatinga são acrescentadas somente na camada interna, a área superficial do painel não sofre nenhuma alteração em relação à estética e mesmo em situações de aplicação de revestimentos melamínicos, *finish foil* ou pinturas.

As partículas de bracatinga se mostraram um bom material em mistura com as partículas de eucalipto, sendo importante a realização de novos estudos para a comprovação de tal afirmativa. Alguns fatores podem ser ajustados procurando melhorar as propriedades do painel estudado. Dentre esses fatores pode-se destacar:

- Processamento da bracatinga e do eucalipto em um mesmo moinho, gerando assim partículas com iguais porcentagens nas diferentes granulometrias (partículas com mesmas dimensões).
- Retirar os corpos-de-prova da região central do painel, para evitar a influência nos resultados dos ensaios físicos e mecânicos. Isto ocorre devido à distribuição desuniforme das partículas feitas manualmente, onde a região das bordas do painel tendem a ficar menos homogênea.
- Padronizar o número de corpos-de-prova a serem ensaiados em 10 amostras para cada ensaio, de acordo com a norma ABNT NBR 14.810/2006.

A partir de todas as considerações apontadas anteriormente, conclui-se que a adição da bracatinga na camada interna do painel de partículas surge como uma opção bastante viável na produção de MDP, por apresentar propriedades favoráveis como densidade compatível as madeiras utilizadas atualmente, ser madeira de reflorestamento e rápido crescimento, além de permitir boa interação quando adicionada ao eucalipto.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. P. **Modelagem do volume do povoamento da *Mimosa scabrella benth* em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba.** 2006. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ALBUQUERQUE, C. E. C. Avaliação de um equipamento utilizado para a pré-secagem de partículas de madeira. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p.69-83, 2001.

ARAUJO, R. H. **Celulose kraft produzida a partir das madeiras de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e eucalipto (*Eucalyptus saligna*) misturadas em diferentes proporções.** 2004. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Área de concentração em tecnologia de produtos florestais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). **Produtos e tecnologia: nossos produtos.** Fevereiro de 2009. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 11 set. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). **Olho no crescimento.** Março de 2007. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 11 set. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.810:** Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

BAGGIO, A. J. et. al. Sistema agroflorestal tradicional da Bracatinga com culturas agrícolas anuais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 12, p.73-82, 1986. Disponível em: < <http://www.cnpf.embrapa.br> >. Acesso em: 30 ago. 2010.

BAGGIO, A. J.; CARPENEZZI, A. A. Exportação de nutrientes na exploração de bracatingais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 34, p.3-15, 1997. Disponível em: < <http://www.cnpf.embrapa.br> >. Acesso em: 30 ago. 2010.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído.** 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Área de concentração análise e seleção de materiais, REDEMAT, Minas Gerais, 2009.

CALIL NETO C.; CALIL JUNIOR C. Determinação das propriedades físicas, de resistência e de elasticidade da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella benth*). In: EMBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 11, 2008, Londrina. **Anais**. Londrina: 2008, 15 p.

DACOSTA, L. P. E. et. al. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii*

*engelm.* **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p.311-322, 2005. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/cienciaflorestal>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana a base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 178 p. Dissertação (doutorado) - Curso Ciência e Engenharia de Materiais, Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DURATEX S. A. **Informação de valor**. 2009. Disponível em: <<http://www.investinfo.com.br/Temp/N05523YP.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2010

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual técnico da Bracatinga**. 1988. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/>>. Acesso em: 11 set. 2010.

FABROWSKI, F. J. et. al. Anatomia comparativa da madeira das variedades populares da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p.65-73, 2005.

FOELKEL, C. **"Waferboard" de Pinus e Diferenças em Relação aos Painéis OSB**. Junho de 2009. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br>>. Acesso em: 24 ago. 2010

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **ForesSTAT**. 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 11 set. 2010.

HASELEIN, C. R. et. al. Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p.81-88, 2002.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J.; **Principles of wood science and technology**. II, Wood based materials. Berlin: Springer-Verlag, 1975. p.61-171.

MACEDO, A. R. P; ROQUE, C. A. L. **Painéis de Madeira**. 2002. Disponível em: <<http://www.bndespar.gov.br>>. Acesso em: 24 ago. 2010

MACIEL, A. C. et. al. Chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p.53-66, 2004.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc, 1993. 689p.

MATTOS, R. L. G. et. al. Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p.121-156, 2008. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

PAINÉIS. **De olho no crescimento.** 2007. Disponível em: <<http://www.revistareferencia.com.br/>>. Acesso em: 11 set. 2010.

ROTTA, E; OLIVEIRA Y. M. M. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella* BENTH). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTO", 4, 1981, Curitiba. **Anais**. Curitiba: 1981, 181p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Glossário mobiliário madeira.** 1994. Disponível em: <<http://www.cetemo.com.br/>>. Acesso em: 11 set. 2010.

WEBER, K. S. **Manejo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.):** baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais. 2007. 141p. Dissertação (mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.