

**RENATO AUGUSTO COVOLATO**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO CONSTITUÍDO DE  
RESÍDUOS DE MADEIRA E RESINA URÉIA FORMALDEÍDO COM  
CURA INCENTIVADA POR MICROONDAS.**

**São Caetano do Sul  
2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**RENATO AUGUSTO COVOLATO**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO CONSTITUÍDO DE  
RESÍDUOS DE MADEIRA E RESINA URÉIA FORMALDEÍDO COM  
CURA INCENTIVADA POR MICROONDAS.**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Linha de Pesquisa: Projeto de processos químicos.

Orientador: Prof. Luiz Alberto Jermolovicius.

Co-Orientador: Prof. José Thomaz Senise.

**São Caetano do Sul  
2007**

Covolato, Renato Augusto.

Desenvolvimento de compósito constituído de resíduos de madeira e resina uréia formaldeído com cura incentivada por microondas. / Renato Augusto Covolato. – São Caetano do Sul, 2007. 197p.

Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia – São Caetano do Sul, 2007.

1. Compósito. 2. Microondas. 3. Resíduos de madeira. 4. Uréia formaldeído. 5. Módulo de resistência à ruptura na flexão. 6. Covolato. 7. MDF. 8. OSB. 9. Aglomerado.

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO CONSTITUÍDO DE  
RESÍDUOS DE MADEIRA E RESINA URÉIA FORMALDEÍDO COM  
CURA INCENTIVADA POR MICROONDAS.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no curso de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Luiz Alberto Jermolovicius.  
Engenharia Química – IMT

Co-Orientador: Prof. José Thomaz Senise.  
Engenharia Elétrica – IMT

Prof. Augusto Carlos Pavão.  
Engenharia Elétrica – IMT

Prof. Guglielmo Taralli  
Engenharia Química – USP

São Caetano do Sul, \_\_\_\_ de julho de 2007.

Dedico este trabalho aos meus dois avós, Emílio  
D'Annunzio Covolato e Antônio de Campos  
Penteado Filho.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelos conhecimentos e princípios transferidos, pela educação a mim proporcionada, capacitando-me a realizar este trabalho.

À minha esposa Valéria Aparecida Pansarella Covolato pelo incentivo e pelo carinho recebido durante nossa união.

Às minhas filhas, as quais me enchem de orgulho, Giulia Pansarella Covolato e Giovanna Pansarella Covolato, que compreenderam a necessidade da minha dedicação a este trabalho nos fins de semana.

Ao Sr. Sílvio e Sra. Cleuza Pansarella, meu sogro e minha sogra, pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos e irmãos de coração, Marcelo Salles Annunziata, Rodrigo Nuno Peiró Correia, Yuri Andrei D. Sampaio, Marcelo Ferreira Junior, Carlos Alberto P. Carneiro, Arturo Roberto Bezerra Castro e Flávio Barbosa de Carvalho pelo apoio e incentivo.

Ao Sr. Carlos Eduardo Andrada Pinheiro de Carvalho, da Marcenaria Toca, ao Sr. Mauricio Monteiro, da Schenectady Brasil, ao Sr. Nelson Reis, da Diskmad Madeiras, aos Srs. Osmar Fernandes e Ailton S. Fernandes, da Marcenaria Segatto, aos Srs. Ricardo Alexandre Burch e Fernando Massa Drezza, da Duratex S.A., Sra. Edielma R. Chipanski, da Borden Química, e Sr. Mário de Andrade, da Hexion Specialty Chemicals, Inc. pelas informações fornecidas.

Ao Prof. Reynaldo Canevari pelas correções ortográficas.

Ao Sr. Ronaldo Roque da Silva, pedreiro, pelo empréstimo da betoneira, equipamento de suma importância para a realização deste trabalho.

Aos senhores Lázaro Alves dos Santos e Max Almeida Costa, marceneiros, pela ajuda no corte dos corpos de prova, na fabricação de moldes, adaptação da tampa para a betoneira, e na montagem do dispositivo para o teste de ruptura na flexão.

Ao Sr. Almino José, serralheiro, pela fabricação dos moldes metálicos.

Ao Sr. Francisco França, que sempre conservou todos os equipamentos necessários para a fabricação dos corpos de prova e execução dos testes mecânicos organizados e limpos.

Ao Eng. Deodato Mansano dos Santos pelo companheirismo e apoio recebido durante o curso.

Ao Prof. Dr. Eduardo Antonio Licco, Prof. Dr. Roberto de Aguiar Peixoto, e Prof. Dr.

João Vicente de Assunção pelos conhecimentos transferidos durante o curso.

À Margareth, do Departamento de Pós-Graduação, e às bibliotecárias da Biblioteca Engenheiro Álvaro de Souza Lima do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia.

Ao Prof. Dr. José Thomaz Senise, meu orientador na área de microondas, pelos conhecimentos transferidos.

E, principalmente, ao Prof. Dr. Luiz Alberto Jermolovícius, meu orientador na área de processos químicos, que me fez enxergar a importância de desenvolver um estudo relacionado ao meu negócio, pelos conselhos pessoais e profissionais, pelo incentivo, e por todos os conhecimentos a mim transferidos.



# **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO CONSTITUÍDO DE RESÍDUOS DE MADEIRA E RESINA URÉIA FORMALDEÍDO COM CURA INCENTIVADA POR MICROONDAS.**

Autor: Renato Augusto Covolato

Orientador: Prof. Luiz Alberto Jermolovicius.

Co-Orientador: Prof. José Thomaz Senise.

## **RESUMO**

Chapas de compósito de resíduos de madeira e resina uréia formaldeído foram produzidas, em escala laboratorial, com o objetivo de avaliar uma nova destinação para o resíduo de madeira decorrente do processo produtivo de marcenarias. A idéia testada foi aproveitar pó de madeira e serragem para produzir chapas de compósito em processo acelerado de cura com irradiação por microondas. As chapas de compósito foram produzidas dentro de moldes, através de prensagem a quente. O teor de resina utilizado foi de 12% em relação à massa do resíduo de madeira seco. A partir destas foram cortados corpos de prova com densidades variando entre 850 kg/m<sup>3</sup> e 1.200 kg/m<sup>3</sup>. Para se comprovar a contribuição da exposição ao campo de microondas na cura da resina do compósito, foram determinados os módulos de ruptura na flexão de três grupos de corpo de prova: o primeiro grupo compreendia corpos de prova testados logo após a prensagem; o segundo grupo corpos de prova expostos ao campo de microondas após a prensagem; o terceiro grupo corpos de prova expostos a um período de quarentena após a prensagem. A análise dos resultados obtidos para o módulo de ruptura na flexão dos três grupos indicou que, após a saída da prensa, o compósito não estava totalmente curado, necessitando de um período de quarentena de alguns dias para permitir a cura final. Comprovou-se, ainda, a possibilidade de reduzir este período de quarentena para alguns segundos, após a prensagem, pela exposição do compósito ao campo de microondas.

# **DEVELOPMENT OF WOOD WASTE AND UREA FORMALDEHYDE RESIN COMPOSITE WITH CURE STIMULATED BY MICROWAVE**

Author: Renato Augusto Covolato.

Adviser: Luiz Alberto Jermolovicius.

Co-Adviser: Prof. José Thomaz Senise.

## **ABSTRACT**

Panels of wood waste and urea formaldehyde resin composite were prepared in laboratorial scale with the purpose to value a new destination of wood waste resulting from joinery. The idea tested was take wood powder and sawdust to produce composite panels with an accelerated cure process through microwave exposition. The composite panels were produced in a mold through hot press. The rate of resin was 12% of dry wood waste mass. Samples, with density varying from 850 kg/m<sup>3</sup> to 1.200 kg/m<sup>3</sup>, were cut from the composite panels. The samples were divided in three groups for the execution of mechanical test to calculate the respective flexural rupture modulus, with the purpose to prove the contribution of the microwave field exposure for the composite final cure. The first group consisted of samples tested after the hot pressing. The second group consisted of samples exposed to the microwave field after the hot pressing. The third group consisted of samples exposed to a period of quarantine after the hot pressing. The analysis of those three groups flexural rupture modulus results, indicate that, after the pressing, the composite was not totally cured, needing some days quarantine period to allow the total cure. In addition, was proved the possibility to reduce the quarantine period to few seconds, exposing the composite to the microwave field.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	21
1.0 - INTRODUÇÃO.....	23
2.0 - MADEIRA.....	28
2.1- Definição.....	28
2.2 - Composição da madeira.....	28
2.3 – Formação da madeira.....	30
2.3.1 – Partes do tronco.....	30
2.3.2 – Crescimento das árvores.....	31
2.3.3 – Influência do meio ambiente no crescimento das árvores.....	32
2.4 – Propriedades da madeira.....	32
2.4.1 – Dureza.....	32
2.4.2 – Flexibilidade mecânica.....	33
2.4.3 - Fendilhamento.....	33
2.4.4 – Plasticidade.....	34
2.4.5 – Porosidade.....	34
2.4.6 – Capacidade de receber polimento.....	35
2.4.7 – Higroscopicidade.....	35
2.4.8 - Coloração.....	35
2.4.9 - Odor.....	36
2.4.10 – Condução elétrica.....	36
2.4.11 – Propriedades acústicas.....	37
2.4.12 – Condução térmica.....	37
2.4.13 – Combustibilidade.....	38
2.4.13.1 – Combustão da madeira.....	38
2.4.14 – Movimentação.....	41
2.5 – Defeitos naturais da madeira.....	43

2.5.1 – Anéis de crescimento irregulares. . . . .	43
2.5.2 – Medula excêntrica. . . . .	43
2.5.3 – Nós. . . . .	44
2.5.4 – Fibras reversas. . . . .	44
2.5.5 – Tumor. . . . .	45
2.5.6 – Ataques de insetos e fungos. . . . .	45
2.6 - Defeitos no beneficiamento da madeira. . . . .	46
2.6.1 – Defeitos de desdobro. . . . .	48
2.6.2 – Defeitos na secagem da madeira. . . . .	49
2.7 – Principais dificuldades da utilização de madeira maciça por marcenarias de pequeno porte localizadas em grandes centros urbanos. . . . .	53
2.8 – Aplicações da madeira. . . . .	55
3.0 – COMPÓSITOS DE MADEIRA. . . . .	57
3.1 – Definição de compósito. . . . .	57
3.2 – Madeira e seus compósitos. . . . .	57
3.2.1 – Compensado de madeira. . . . .	59
3.2.1.1 – Definição do compensado. . . . .	59
3.2.1.2 - Produção do compensado. . . . .	61
3.2.1.3 – Características do compensado. . . . .	62
3.2.1.4 – Aplicações do compensado. . . . .	63
3.2.2 – Aglomerado de madeira. . . . .	63
3.2.2.1 – Definição do aglomerado. . . . .	63
3.2.2.2 – Produção do aglomerado. . . . .	64
3.2.2.3 – Características do aglomerado. . . . .	66
3.2.2.4 – Aplicações do aglomerado. . . . .	67
3.2.3 – OSB – <i>Oriented strand board</i> . . . . .	67
3.2.3.1 – Definição do OSB. . . . .	67
3.2.3.2 – Produção do OSB. . . . .	68
3.2.3.4 – Características do OSB. . . . .	71
3.2.3.4 – Aplicações do OSB. . . . .	71
3.2.4 – MDF – <i>Medium density fibreboard</i> . . . . .	72
3.2.4.1 – Definição do MDF. . . . .	72
3.2.4.2 – Produção do MDF. . . . .	73

3.2.4.3 – Características do MDF. . . . .	74
3.2.4.4 – Aplicações do MDF. . . . .	75
3.2.5 – Compósitos madeira plástico. . . . .	77
3.3 – Comparação entre compósitos de madeira e madeira maciça. . . . .	77
4.0 - RESINA URÉIA FORMALDEÍDO. . . . .	81
4.1 - Definição. . . . .	81
4.2 – Formação da resina. . . . .	81
4.3 - Participação na indústria da madeira. . . . .	83
5.0 - RESÍDUOS DE MADEIRA. . . . .	85
5.1 - Geração de resíduos na indústria da madeira. . . . .	85
5.2 - Tipos de resíduos de madeira. . . . .	86
5.3 - Destinação de resíduos de madeira. . . . .	90
5.4 - Utilização de resíduos para a fabricação de chapas de madeira reconstituída. . . . .	92
6.0 - MICROONDAS. . . . .	93
6.1 - Definição. . . . .	93
6.2 – Aplicações das microondas. . . . .	94
6.3 - Aquecimento com microondas. . . . .	95
6.4 – Propagação das microondas nos materiais. . . . .	97
6.5 - Geradores de microondas. . . . .	99
6.6 – Características do aquecimento com microondas. . . . .	101
6.7 - Microondas na química. . . . .	102
6.8 - Microondas na indústria da madeira. . . . .	103
7.0 – COMPÓSITO DE RESÍDUOS DE MADEIRA E RESINA URÉIA FORMALDEÍDO. . . . .	107
7.1 – Descrição. . . . .	107
7.2 – Embasamento técnico. . . . .	108
7.2.1 - Processo de fabricação do MDF. . . . .	109
7.2.1.1 - Descascamento. . . . .	109
7.2.1.2 - Fragmentação. . . . .	110
7.2.1.3 - Classificação dos cavacos. . . . .	110

7.2.1.4 - Armazenamento de cavacos. . . . .	110
7.2.1.5 - Lavagem dos cavacos. . . . .	111
7.2.1.6 - “Digestão” dos cavacos . . . . .	112
7.2.1.7 - Desfibramento. . . . .	113
7.2.1.8 - Aplicação de resina e parafina . . . . .	115
7.2.1.9 - Secagem das fibras. . . . .	115
7.2.1.10 - Formação do colchão de fibras. . . . .	116
7.2.1.11 – Pré-prensagem. . . . .	118
7.2.1.12 - Prensagem. . . . .	119
7.2.1.13 – Pré-corte. . . . .	121
7.2.1.14 - Resfriamento. . . . .	122
7.2.1.15 - Estocagem intermediária. . . . .	124
7.2.1.16 - Lixamento e corte. . . . .	124
7.2.1.17- Empacotamento. . . . .	125
8.0 – MATERIAIS E MÉTODOS. . . . .	127
8.1 - Materiais. . . . .	127
8.1.1 - Resíduo de madeira. . . . .	127
8.1.2 - Resina. . . . .	129
8.1.3 - Extensor. . . . .	130
8.2 - Métodos. . . . .	131
8.2.1 – Determinação do teor de umidade dos resíduos de madeira. . . . .	131
8.2.2 - Determinação da quantidade de resina. . . . .	132
8.2.3 - Determinação da quantidade de água. . . . .	133
8.2.4 - Determinação da quantidade de catalizador. . . . .	133
8.2.5 - Aplicação de resina na fibra. . . . .	133
8.2.6 – Determinação da técnica de enchimento do molde. . . . .	135
8.2.7 - Determinação da temperatura de prensagem. . . . .	139
8.2.8 - Determinação do tempo de prensagem. . . . .	139
8.2.9 - Prensagem. . . . .	139
8.2.10 - Preparação dos corpos de prova. . . . .	142
8.2.11 - Aplicação de microondas. . . . .	145
8.2.12 - Teste mecânico. . . . .	147
8.2.13 - Determinação de densidade dos corpos de prova. . . . .	152

8.2.14 – Determinação do intervalo de confiança para a média o módulo de ruptura. . . . .	153
8.2.15 – Determinação das curvas MOR x densidade. . . . .	154
8.2.16 - ANOVA – Análise de variâncias. . . . .	155
8.2.16.1 – Teoria da ANOVA. . . . .	155
8.2.16.2 – Aplicação da ANOVA. . . . .	156
9.0 - RESULTADOS. . . . .	157
9.1 – Eventos observados nos experimentos. . . . .	157
9.2 – Corpos de prova testados após a prensagem. . . . .	158
9.2.1 – Intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura dos corpos de prova testados após a prensagem. . . . .	159
9.2.2 – Gráfico do módulo de ruptura em função da densidade dos corpos de prova testados após a prensagem. . . . .	160
9.3 – Corpos de prova testados após exposição ao campo de microondas. . . . .	161
9.3.1 – Intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas. . . . .	163
9.3.2 – Gráfico do módulo de ruptura em função da densidade dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas. . . . .	164
9.4 – Corpos de prova testados após o período de quarentena. . . . .	165
9.4.1 – Intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura dos corpos de prova testados após o período de quarentena. . . . .	166
9.4.2 – Gráfico do módulo de ruptura em função da densidade dos corpos de prova testados após a quarentena. . . . .	167
9.5 – Tabela de dados das funções obtidas pela regressão. . . . .	167
9.6 – ANOVA – Análise de variâncias. . . . .	172
9.6.1 – ANOVA entre os três universos. . . . .	172
9.6.2 – ANOVA a cada dois universos. . . . .	172
10.0 - DISCUSSÃO. . . . .	174
10.1 – Análise de frequência das densidades. . . . .	174
10.2 – Análise do intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura. . . . .	176
10.3 – Análise do gráfico do módulo de ruptura em função das densidades a partir da análise de regressão. . . . .	180
10.4 – ANOVA – Análise de variâncias. . . . .	181

10.5 – Comparação entre o MOR obtido nos testes com o compósito e o MOR dos painéis encontrados no mercado. ....	182
11.0 - CONCLUSÃO. ....	183
12.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	184
GLOSSÁRIO. ....	195



## LISTA DE FIGURAS

Página

### CAPÍTULO 2 - MADEIRA

Figura 2.1 – Representação da formação da celulose. ....	29
Figura 2.2 – Corte transversal do tronco. Imagem modificada de Taxus_wood.jpg (Wikipedia,2004) .....	30
Figura 2.3 – Detalhe dos anéis de crescimento anual (Prat, 2005) .....	32
Figura 2.4 – Representação gráfica do fendilhamento (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971) ...	34
Figura 2.5 – Isoterma T0 e 200°C. ....	39
Figura 2.6 – Isoterma 200°C e 280°C. ....	40
Figura 2.7 – Isoterma 280°C e 500°C. ....	40
Figura 2.8 – Representação gráfica de medula excêntrica (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971) .....	43
Figura 2.9 – Representação gráfica de um nó morto (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971) ..	44
Figura 2.10 – Exemplo de ataque de besouro em um tronco de árvore (Alesso, ca. 2006) ..	45
Figura 2.11 – Secagem de madeira ao ar livre (Prat, 2005) .....	47
Figura 2.12 – Representação gráfica do arqueamento (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971) ...	50
Figura 2.13 – Representação gráfica do encanoamento (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971) ..	51
Figura 2.14 – Representação gráfica da madeira torcida (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971) .	51
Figura 2.15 – Representação gráfica da madeira encurvada (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971) .....	52

### CAPÍTULO 3 – COMPÓSITOS DE MADEIRA

Figura 3.1 – Exemplo de chapas de compensado laminado revestidas com melamina colorida (NIEM, 2006) .....	59
Figura 3.2 – Compensado sarrafeado (WPIF, 2004) .....	60

Figura 3.3 – Compensado Multisarrafeado (WPIF, 2004) . . . . .	60
Figura 3.4 – Desenho esquemático de laminação de madeira em torno laminador (Prat, 2005) . . . . .	61
Figura 3.5 – Chapas de aglomerado (EPF, 2005) . . . . .	64
Figura 3.6 – Misturador de sólidos para aplicação de resina e parafina (Binos Technologies, 2005) . . . . .	65
Figura 3.7 – Parafusos tipo <i>chipboard</i> (CHAEN WEI CORPORATION, 2006) . . . . .	67
Figura 3.8 – Orientação de partículas nas chapas de OSB (Masisa, 2003) . . . . .	68
Figura 3.9 – Estoque de troncos para a produção de OSB (PLT, 2001) . . . . .	69
Figura 3.10 – Detalhe do colchão de partículas, que seguirá para prensagem (Kabel, 2005). . . . .	70
Figura 3.11 – Entrada do colchão de partículas na prensa (PLT, 2001) . . . . .	70
Figura 3.12 – Casa construída com chapas de OSB (CWC, 2005) . . . . .	72
Figura 3.13 – Chapas de MDF (Kronopol, 2006) . . . . .	73
Figura 3.14 – Aplicação de MDF em revestimento de paredes e fabricação de portas (Foto cedida pela marcenaria Arteira) . . . . .	76
Figura 3.15 – Exemplo de aplicação do MDF em mobiliário e revestimento de paredes (EPF, 2005) . . . . .	76

#### **CAPÍTULO 4 – RESINA URÉIA FORMALDEÍDO**

Figura 4.1 – Formação da metiloluréia e da dimetiloluréia. . . . .	82
Figura 4.2 – Molécula polimérica linear. . . . .	82
Figura 4.3 – Ligações cruzadas da resina uréia formaldeído. . . . .	83

#### **CAPÍTULO 5 – RESÍDUOS DE MADEIRA**

Figura 5.1 – Cepilho gerado no processo de desengrosso de madeira canela. . . . .	88
Figura 5.2 – Fresagem de madeira na tupia. . . . .	88
Figura 5.3 – Cepilho gerado a partir da fresagem de madeira na tupia. . . . .	89

Figura 5.4 – Serragem de madeira canela gerada no processo de corte. . . . . 89

Figura 5.5 – Lixamento de peça de madeira, fonte de geração de pó. . . . . 90

## **CAPÍTULO 6 - MICROONDAS**

Figura 6.1 – Representação gráfica de um campo eletromagnético (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994) . . . . . 93

Figura 6.2 – Indução do campo eletromagnético nas moléculas de água (Mays, 2005). . . . . 96

Figura 6.3 – Efeitos decorrentes da incidência do campo de microondas nos materiais, dependendo de suas propriedades (Chan, 2000) . . . . . 97

Figura 6.4 – Permissividade (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994) . . . . 98

Figura 6.5 – Tangente de perda (Chan, 2000) . . . . . 98

Figura 6.6 – Permeabilidade eletromagnética de um material (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994) . . . . . 99

Figura 6.7 – Magnetron de forno doméstico (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994) . . . . . 100

Figura 6.8 – Magnetron para aquecimento em processos industriais. Projetado para emitir ondas com frequência de 2,45GHz e potência de 8kW. (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994) . . . . . 100

Figura 6.9 – Comparação entre secagem de madeira por aquecimento convencional e por microondas (Fleuriot, 2006) . . . . . 104

Figura 6.10 – Comparação entre secagem de madeira convencional e com microondas (Wilkinson,2003) . . . . . 105

Figura 6.11 – Secador à microondas com vácuo industrial (Seyfarth,2003) . . . . . 106

## **CAPÍTULO 7 – COMPÓSITO DE RESÍDUOS DE MARCENARIA E RESINA URÉIA FORMALDEÍDO**

Figura 7.1 – Sistema “*GentleBarking*” de descascamento (Metso, 2005) . . . . . 109

Figura 7.2 – Picador tipo “*Camura GS*” (Metso, 2005) . . . . . 110

Figura 7.3 – Pátio onde são depositados os cavacos na fábrica de MDF da Tafisa em Piên - Paraná (Tafisa, 2005) . . . . . 111

Figura 7.4 – Sistema de lavagem de cavacos (Metso, 2005) . . . . . 112

Figura 7.5 – Conjunto digestor e desfibrador (Metso, 2005) . . . . .	113
Figura 7.6 – Desfibrador série P da Metso (Metso, 2005) . . . . .	114
Figura 7.7 – Silo de Fibras (Binos Technologies, 2005) . . . . .	117
Figura 7.8 – Detalhe da formação do colchão (Binos Technologies, 2005) . . . . .	118
Figura 7.9 – Pré-prensagem das fibras (Metso, 2005) . . . . .	118
Figura 7.10 – Saída da pré-prensagem do colchão de fibras (Tafisa, 2005) . . . . .	119
Figura 7.11 – Prensa contínua (Metso, 2005) . . . . .	120
Figura 7.12 – Prensa contínua da Fábrica de MDF da Tafisa (Tafisa, 2005) . . . . .	120
Figura 7.13 – Desenho representativo da prensagem com resfriamento (Metso, 2005). . . . .	121
Figura 7.14 – Resfriador tipo estrela (Tafisa, 2005) . . . . .	122
Figura 7.15 – Detalhe do resfriador estrela (Tafisa, 2005) . . . . .	123
Figura 7.16 – Detalhe da saída das chapas do resfriador (Tafisa, 2005) . . . . .	123
Figura 7.17 – Lixamento das chapas de MDF (Metso, 2005) . . . . .	125
Figura 7.18 – Diagrama do processo de produção de MDF (Placas do Paraná, 2005) . . . . .	126

## **CAPÍTULO 8 – MATERIAIS E MÉTODOS**

Figura 8.1 – Coletor de pó com motor elétrico de 25cv. . . . .	127
Figura 8.2 – Resíduo utilizado na fabricação das amostras de compósito. . . . .	128
Figura 8.3 – Balde de Cascamite 10kg. . . . .	129
Figura 8.4 – Detalhe da aplicação da resina através de orifício na tampa instalada na betoneira. . . . .	134
Figura 8.5 – Representação gráfica da aplicação da resina. . . . .	135
Figura 8.6 – Molde em compensado e tampa em chapa de alumínio. . . . .	136
Figura 8.7 – Fibra de madeira distribuída manualmente no molde. . . . .	136
Figura 8.8 – Moldes em chapa de aço. . . . .	137
Figura 8.9 – Corte dos limitadores laterais para a formação dos canais de escape de vapor. . . . .	138

Figura 8.10 – Detalhe dos canais de escape de vapor. . . . .	138
Figura 8.11 – Prensa Invicta utilizada. . . . .	140
Figura 8.12 – Molde posicionado no prato da prensa, antes do início da prensagem. . . . .	141
Figura 8.13 – Manômetro e diagrama de pressão da prensa. . . . .	141
Figura 8.14 – Compósito após a saída do molde. . . . .	142
Figura 8.15 – Corte no sentido do comprimento com largura de 40mm. . . . .	143
Figura 8.16 – Utilização da plaina desengrossadeira para redução da espessura para 9mm. . . . .	143
Figura 8.17 – Corte ao meio das peças de 40mm de largura. . . . .	144
Figura 8.18 – Corte final, ajustando o comprimento para 300mm. . . . .	144
Figura 8.19 – Microondas doméstico utilizado. . . . .	145
Figura 8.20 – Visão do misturador de modos na parte interna do forno de microondas. . . . .	146
Figura 8.21 – Misturador de modos. . . . .	146
Figura 8.22 – Motor elétrico para rotação do misturador de modos. . . . .	147
Figura 8.23 - Esquema do dispositivo padrão para o teste mecânico. . . . .	148
Figura 8.24 – Dispositivo utilizado para o teste mecânico. . . . .	149
Figura 8.25 – Detalhe dos apoios do dispositivo para teste mecânico. . . . .	150
Figura 8.26 – Vista frontal dos apoios. . . . .	151
Figura 8.27 - Balança para determinação da massa dos corpos de prova. . . . .	153

## **CAPÍTULO 9 - RESULTADOS**

Figura 9.1 – Gráfico do módulo de ruptura dos corpos de prova testados logo após a prensagem em relação às suas densidades. . . . .	161
Figura 9.2 – Gráfico do módulo de ruptura dos corpos de prova testados logo após a exposição ao campo de microondas em relação às suas densidades. . . . .	164
Figura 9.3 – Gráfico do módulo de ruptura dos corpos de prova testados logo após a quarentena em relação às suas densidades. . . . .	167

Figura 9.4 – Gráfico das funções de MOR x Densidade. ....	171
---	-----

## **CAPÍTULO 10 – DISCUSSÃO**

Figura 10.1 – Diagrama de barras da frequência absoluta de densidades. ....	175
---	-----

Figura 10.2 – Diagrama de barras da frequência relativa de densidades. ....	175
---	-----

Figura 10.3 – Representação gráfica dos intervalos de confiança dos valores de MOR obtidos nos testes mecânicos, com nível de confiança de 95%. ....	177
--	-----

Figura 10.4 – Representação gráfica dos intervalos de confiança dos valores de MOR obtidos nos testes mecânicos, com nível de confiança de 99%. ....	178
--	-----

Figura 10.5 – Representação gráfica dos intervalos de confiança dos valores de MOR calculados a partir dos modelos obtidos por regressão, com nível de confiança de 95%. ...	179
--	-----

## **GLOSSÁRIO**

Figura G1 – Representação gráfica do tamboreamento. ....	197
--	-----

## LISTA DE TABELAS

Página

### **CAPÍTULO 3 – COMPÓSITOS DE MADEIRA**

Tabela 3.1 – Comparação entre madeira maciça e compósitos de madeira. . . . . 79

### **CAPÍTULO 6 – MICROONDAS**

Tabela 6.1 – Frequências reservadas para propósitos ISM (Chan, 2000) . . . . . 95

### **CAPÍTULO 8 – MATERIAIS E MÉTODOS**

Tabela 8.1 - Propriedades da Cascamite 5H. . . . . 130

Tabela 8.2 – Dados obtidos no cálculo do teor de umidade. . . . . 132

### **CAPÍTULO 9 – RESULTADOS**

Tabela 9.1 – Dados dos corpos de prova testados após a prensagem. . . . . 158

Tabela 9.2 – Intervalo de Confiança para a média do MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa. . . . . 160

Tabela 9.3 – Dados dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas. . . . . 162

Tabela 9.4 – Intervalo de Confiança para a média do MOR dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas. . . . . 164

Tabela 9.5 – Dados dos corpos de prova testados após a quarentena. . . . . 165

Tabela 9.6 – Intervalo de Confiança para a média do MOR dos corpos de prova testados após o período de quarentena. . . . . 166

Tabela 9.7 – Dados de MOR em função da densidade calculados a partir da regressão. . . . 168

Tabela 9.8 – Resultado da análise de variâncias dos três universos estudados. . . . . 172

Tabela 9.9 – ANOVA entre o MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa, e o MOR dos corpos de prova submetidos ao campo de microondas. . . . . 173

Tabela 9.10 – ANOVA entre o MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa, e o MOR dos corpos de prova submetidos à quarentena. . . . . 173

Tabela 9.11 – ANOVA entre o MOR dos corpos de prova expostos ao campo de microondas e

o MOR dos corpos de prova submetidos à quarentena. . . . .173

## **CAPÍTULO 10 – DISCUSSÃO**

Tabela 10.1 – Frequência Absoluta e Frequência Relativa de Densidades. . . . .174

Tabela 10.2 – MOR e densidade de placas de madeira reconstituída. . . . .182



## 1.0 - INTRODUÇÃO

Nas grandes metrópoles, a indústria moveleira é, predominantemente, constituída de empresas de micro e pequeno porte. Estas empresas são na maioria fabricantes de móveis residenciais sob encomenda. Normalmente, são empresas familiares, com baixo poder econômico e com baixa capacidade tecnológica (Gorini, 1998).

Estas marcenarias, normalmente, estão instaladas em pequenos galpões, pequenas salas e até garagens. O espaço físico é limitado. A disposição do maquinário e bancadas deve ser otimizada ao máximo, de modo a sobrar áreas para a circulação, estoque de matéria prima, como chapas e pranchas de madeira, bem como espaço para a pré-montagem do mobiliário em produção. Uma atitude vital para que ocorra esta otimização é a eliminação de todos os materiais que ocupem espaço físico, que não façam parte do processo produtivo.

Um dos problemas das micro e pequenas empresas é o resíduo decorrente do processo produtivo. Na execução de produtos de marcenaria é gerado grande volume de resíduos de madeira. Este resíduo de madeira compete pela ocupação da área disponível para circulação e pré-montagem.

Em empresas que trabalham com madeira maciça, este problema é mais crítico. Durante a transformação das pranchas de madeira nas peças finais, por volta de cinquenta por cento do volume da madeira se transforma em sarrafos, pontas, pó e serragem.

No processo com chapas de madeira reconstituída, tais como compensado, aglomerado, MDF - *Médium Density Fiberboard* e OSB - *Oriented Strand Board*, a geração de resíduos encontra-se por volta de vinte por cento do volume trabalhado.

Como será apresentado no Capítulo 5.0 – Resíduos de Madeira, as opções para o descarte de resíduos na zona metropolitana são mais restritas. O descarte dos resíduos pelo sistema de coleta de lixo urbano não é possível em função da quantidade, e pela contaminação por substâncias químicas, tais como adesivos, solventes e vernizes. A inexistência de empresas próximas que possuam geradores termoelétricos, ou caldeiras em função da rígida Legislação Ambiental dos centros metropolitanos, impede a utilização dos resíduos de madeira como combustível. A distância para a zona rural impossibilita a utilização dos resíduos como insumo agrícola.

Boa parte das opções de destinação dos resíduos de madeira, como, por exemplo, a contratação de uma empresa de coleta especializada e credenciada junto ao órgão ambiental do Estado para este fim, gera um custo operacional. Nem todas as empresas possuem capacidade financeira para assumir esta despesa.

Nas grandes metrópoles, algumas marcenarias eliminam seus resíduos de maneira ilegal. Estas empresas subornam os coletores de lixo, para que estes levem a grande quantidade de resíduos. Colocam os resíduos em vários sacos de lixo, distribuindo-os pelo bairro, ou até os despejam em terrenos desocupados. A queima dos resíduos também é muito utilizada, contribuindo com a emissão de gás carbônico na atmosfera. As empresas que adotam estas práticas correm um grande risco de sofrer punições por parte do Poder Público.

Este trabalho propõe uma alternativa para a destinação dos resíduos de madeira, que possibilita a geração de receita. Esta alternativa é a reciclagem dos resíduos. Com a reciclagem, os resíduos deixam de ser classificados como lixo, passando a ser considerados como matéria prima para a fabricação de um outro produto.

Um modo de reciclar os resíduos da marcenaria é a sua utilização na fabricação de peças constituídas de um compósito de resíduos de madeira e resina, através de prensagem ou extrusão. Este compósito pode ser utilizado na fabricação de peças de menor porte, para decoração ou estruturais, por estampagem da massa, dando conformação artística, dispensando a utilização de tupias e tornos tradicionais. Como a peça já sai da prensagem ou da extrusão no seu formato final, é reduzida drasticamente a geração de resíduos decorrentes de serviços de usinagem. Mais especificamente, com o compósito é possível fabricar batentes, pés e pernas para móveis, guarnições, rodapés, portas, molduras, apliques, artesanatos, imitações de peças entalhadas, peças prensadas substituindo peças torneadas, usinadas, esculpidas, etc.

O desenvolvimento deste compósito não é importante apenas sob o ponto de vista econômico, mas também é importante sob o ponto de vista ecológico. A fabricação de mobiliário, rodapés, molduras, e peças de decoração com a utilização de compósitos de madeira, contribui na redução da exploração de florestas nativas pela otimização do uso da madeira.

A indústria de molduras italiana é um exemplo da viabilidade da fabricação deste compósito. Desde meados de 1970, existem na Itália empresas especializadas na fabricação de molduras e pequenas peças prensadas a quente, utilizando-se pó de madeira e resina. Estas peças imitam madeira entalhada sendo muito utilizadas na indústria de móveis e de molduras decorativas.

Segundo Covolato (2000), o processo de fabricação das peças consiste na prensagem dentro de formas do pó de madeira misturado com a resina. Para a fabricação de molduras, utiliza-se uma prensa contínua que comprime o pó misturado com resina sobre réguas de madeira pré-usinadas. Esta prensagem é feita através de carretilhas com relevo negativo em

relação aos adornos da moldura. Após a prensagem, estas peças são colocadas em prateleiras por alguns dias para que ocorra a cura total da resina.

Para que a fabricação do compósito em marcenarias seja viável, o processo deve ser simples. Os equipamentos necessários para a sua produção devem ser aqueles existentes nas marcenarias, ou que exijam um baixo investimento para a sua aquisição, e a resina deve ser conhecida pelos marceneiros.

A resina uréia formaldeído, muito utilizada nas marcenarias para a colagem de folhas de madeira, e na indústria para a fabricação de chapas de MDF e aglomerados, foi a resina escolhida para o desenvolvimento do compósito. Esta escolha se deve ao fato de ser uma resina de fácil manuseio, barata e de fácil aquisição no mercado.

Inicialmente, foram produzidas pequenas chapas através da prensagem à quente do resíduo de marcenaria impregnado com resina uréia formaldeído. Após a fabricação das primeiras peças, percebeu-se que as mesmas não atingiam sua resistência mecânica completa logo após a prensagem. Isto ocorre, porque, ao final da prensagem, a resina localizada no centro da peça fabricada ainda não se encontra totalmente curada. Como no compósito italiano, a cura total da resina somente é atingida após um período de estocagem.

A resina uréia formol tem a sua cura estimulada pelo calor. Na prensagem o aquecimento é do tipo convencional, sendo que neste caso a transmissão do calor na peça ocorre por condução. Enquanto a superfície do compósito em contato com os pratos aquecidos da prensa se aquece rapidamente, a parte central da peça permanece fria. A condução de calor se dá de maneira muito lenta, impossibilitando o aquecimento do centro da peça durante o período recomendado para a prensagem, de modo que não ocorram danos à superfície da peça por superaquecimento. Conseqüentemente a cura da resina no centro da peça não se completa.

Para a eliminação da necessidade de estocagem, permitindo uma economia de espaço físico e a redução do tempo de fabricação do compósito, é necessária a aceleração da cura da resina localizada no centro do compósito através de aquecimento. Este aquecimento é possível através da exposição do compósito ao campo de microondas.

Uma das principais vantagens do aquecimento, através do campo de microondas em relação ao aquecimento convencional, é a sua capacidade de penetração, permitindo um aquecimento homogêneo, de modo que ocorra o aquecimento do miolo sem prejudicar a superfície da peça.

Muitos trabalhos científicos relatam as contribuições na utilização de microondas em processos químicos, dando fundamento à idéia da cura acelerada com microondas. Dentre

estes trabalhos podemos citar os estudos de química incentivada por microondas desenvolvidos pelos Professores Doutores José Thomaz Senise e Luiz Alberto Jermolovicus, como citado no artigo “*Microwave Chemistry – A Fertile Field for Scientific Research and Industrial Applications*”, onde é relatado que as reações químicas apresentam uma aceleração de sua velocidade, quando aquecidas por microondas. Essa vantagem da aceleração da velocidade é atribuída à interação das microondas com o material sob irradiação. Sob o aspecto térmico, o material ao ser irradiado por microondas passa a ser aquecido no volume de penetração das microondas, o que proporciona um aquecimento sem os tradicionais gradientes térmicos dos aquecimentos convencionais por condução. Isto permite um aquecimento uniforme e rápido. Sob o aspecto químico, as microondas permitem a ocorrência de passos de reação alternativos mais rápidos, pelo desemparelhamento de spins de átomos das moléculas envolvidas.

Durante a prensagem não foi possível a realização do aquecimento com microondas, já que ainda não foi desenvolvido um material necessário para a fabricação dos pratos da prensa, bem como dos moldes, que seja de baixo custo, que resista à alta pressão, e que seja transparente ao campo de microondas, permitindo a sua transmissão para o compósito.

Como alternativa, foi adotado um processo onde se utilizou a prensagem com aquecimento convencional para a conformação do compósito, combinada com um aquecimento posterior com a exposição ao campo de microondas para a cura final da resina.

A utilização do aquecimento com microondas, combinado com o aquecimento convencional, já é utilizado em vários setores da indústria, sendo considerado um grande avanço em relação ao aquecimento convencional puro (Chan, 2000). Um exemplo é a indústria alimentícia. Na desidratação de cebolas utiliza-se ar quente para reduzir o teor de umidade de 80% até aproximadamente 10%. Em seguida utiliza-se a exposição ao campo de microondas para a redução do teor de umidade para níveis abaixo de 5%. Neste caso, a utilização de microondas permite uma economia de 30% de energia, e um aumento de 90% na eliminação de bactérias (Metaxas, 1996).

Com o processo desenvolvido neste trabalho, marcenarias de porte médio poderão fabricar o compósito com os seus resíduos. Marcenarias de micro e pequeno porte poderão se unir com outras marcenarias em forma de cooperativas, ou consórcios para viabilizar a fabricação.

Um tipo de negócio, que pode ser viabilizado, é a criação de uma empresa especializada na coleta dos resíduos em marcenarias para a fabricação do compósito. Esta empresa pode fabricar peças de decoração, peças para as marcenarias que forneceram os

resíduos, ou até a produção de peças para indústrias de outros setores.

## **2.0 - MADEIRA**

A madeira foi um dos primeiros materiais de construção a ser utilizado pelo homem, em função de suas características, e de sua disponibilidade. Nos dias de hoje, continua a ser uma matéria prima de grande importância.

A sua grande utilização é decorrente da facilidade de ser encontrada na natureza, ser material renovável, possuir aspecto agradável, além de possuir boas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas.

Pode-se justificar o bom desempenho de suas propriedades em relação a outros materiais, ao considerar que a madeira possui uma relação resistência mecânica / densidade maior que a do aço, e que a do concreto. Enquanto esta relação para a madeira é por volta de 8 a 10, para o aço é de 3,21, e para o concreto é de 0,83 (Calil, 1997). Ou que, a energia gasta para a extração, produção e transporte da madeira para consumo final é por volta de 600 MJ/m<sup>3</sup>, enquanto para o aço é de 234.000 MJ/m<sup>3</sup>, e para o concreto 1.920 MJ/m<sup>3</sup> (Calil, 1997).

### **2.1- Definição**

Madeira é um composto de lignina e celulose de origem natural, obtida do tronco, galhos e raízes das árvores, sendo utilizada pelos carpinteiros e pelos marceneiros como matéria prima (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

### **2.2 - Composição da madeira**

A madeira é composta por células tubulares unidas entre si, formando um tipo de sistema de capilares que distribui as substâncias químicas necessárias para a vida da árvore (Feirer, 1988).

Os principais componentes da estrutura da madeira são a celulose, a hemicelulose e a lignina.

A celulose é um polímero de cadeia longa, composto de monômeros de glicose. É o componente estrutural das plantas. É um polissacarídeo que representa de 40% a 50% da massa seca da madeira.

A glicose é formada pelo processo da fotossíntese. As folhas das árvores absorvem o gás carbônico, que reage com a água presente na árvore formando glicose e oxigênio. Esta reação é catalisada pela luz solar absorvida pelas folhas. A fotossíntese pode ser representada

pela seguinte reação:



No câmbio, as moléculas de glicose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) perdem água, e transformam-se em anidroglicose ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ). Estas moléculas de anidroglicose se ligam formando uma longa cadeia, a celulose ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) $_n$ , como pode ser visto na figura 2.1. As ligações internas e entre as unidades de anidroglicose dão origem a uma molécula rígida, retilínea, com grande resistência à tração. O grau de polimerização da celulose varia entre 5.000 e 10.000 (Smith, 1998).

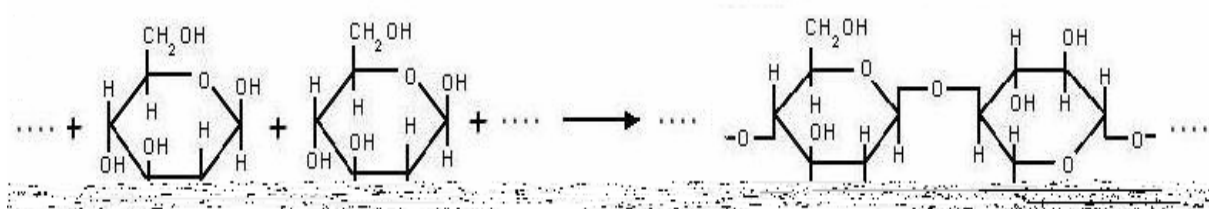


Figura 2.1 – Representação da formação da celulose.

Através de processos mecânicos combinados com processos químicos, a celulose é extraída da madeira, sendo aproveitada na produção de papéis, vernizes, explosivos e o filme celulóide.

A hemicelulose é composta por uma mistura de polissacarídeos. Estes polissacarídeos são formados na madeira a partir de açúcares como manose, xilose e galactose. Responde por volta de 25% a 40% da massa seca da madeira. Entre as moléculas de hemicelulose há uma baixa taxa de cristalinidade. O grau de polimerização varia entre 150 e 200 (Smith, 1998).

A lignina consiste em um material polimérico complexo, com ligações cruzadas tridimensionais, formadas a partir de unidades fenólicas. O peso molecular da lignina é alto, sendo maior que 11.000. Representa por volta de 20% a 25% da massa seca da madeira (Desh, 1996). A lignina contribui na rigidez das paredes celulares da madeira, para que estas suportem forças de compressão (Smith, 1998).

O conjunto composto por um núcleo cristalino de celulose, rodeado por moléculas de celulose, hemicelulose, e lignina forma as microfibrilas, material que compõe as paredes celulares da madeira (Desh, 1996).

## 2.3 – Formação da madeira

### 2.3.1 – Partes do tronco

Considerando um corte transversal, como na figura 2.2, o tronco é formado por várias camadas. Conforme Smith (1998), as camadas de fora para dentro são:

- Casca exterior ou ritidoma: composta por células mortas, é responsável pela proteção física do tronco.
- Casca interior, ou feloderme: tecido vivo, úmido e macio, é responsável pelo transporte de nutrientes para as regiões em crescimento da árvore.
- Câmbio: responsável pelo crescimento da árvore. Durante sua reprodução se transforma em feloderme, alburno e nova camada de câmbio.
- Lenho ativo, ou alburno: conhecido também como brancal ou madeira jovem. Tem a coloração mais clara, possui células responsáveis pelo armazenamento de nutrientes e que transportam a seiva das raízes até as folhas.

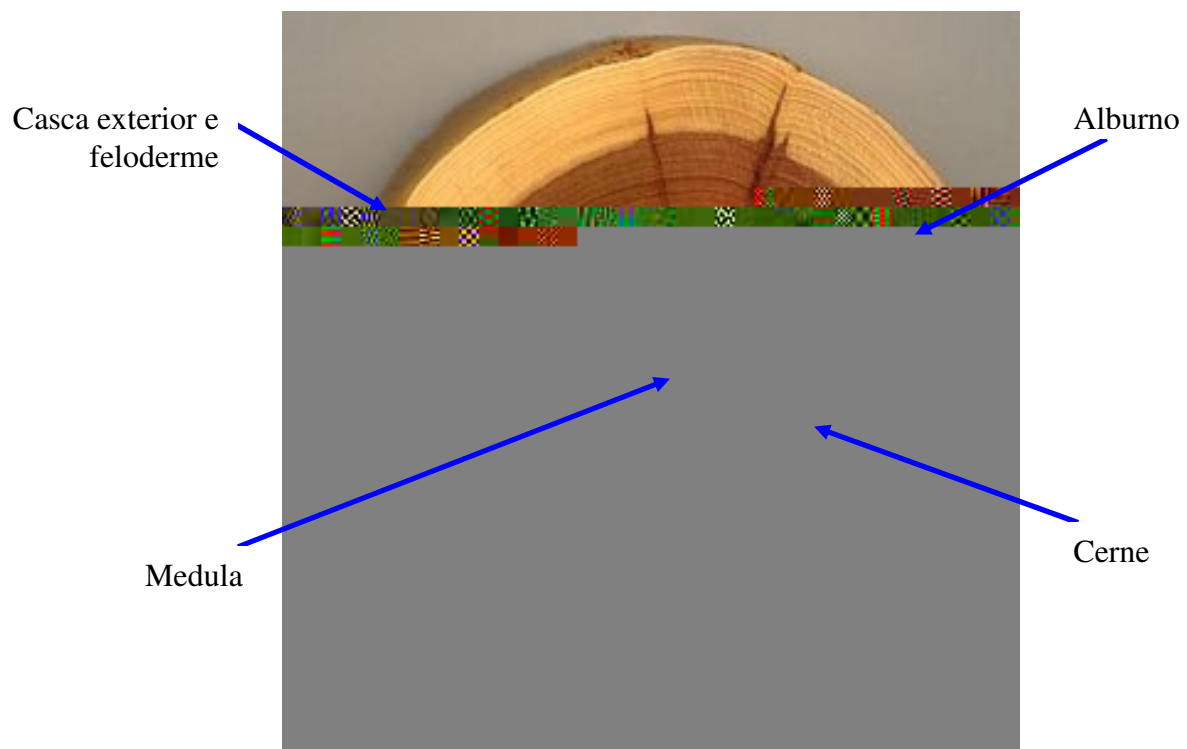


Figura 2.2 – Corte transversal do tronco. Imagem modificada de *Taxus\_wood.jpg* (Wikipedia,2004).



- Lenho inativo, cerne, ou durame: região mais escura, formada por células mortas, responsáveis pela resistência da árvore. Esta é a região que é aproveitada para a obtenção das pranchas de madeira.

- Medula: tecido macio no centro do tronco. É o local onde se inicia o crescimento da árvore.

No sentido radial, o tronco possui os raios lenhosos. Os raios lenhosos ligam a medula até a casca, armazenando e transportando nutrientes.

### **2.3.2 – Crescimento das árvores**

As árvores crescem em dois sentidos: no sentido do comprimento com o aumento da altura e expansão das raízes, e no sentido radial com o aumento do diâmetro da árvore.

Nas extremidades dos ramos e raízes existe um tecido vivo chamado meristema, responsável pelo crescimento da árvore no sentido do comprimento. Através do estímulo de hormônios este tecido se reproduz, e, assim, as raízes e os ramos da árvore se expandem.

A região da árvore responsável pelo crescimento no sentido radial é o câmbio. Através do estímulo de hormônios as células do câmbio se multiplicam, aumentando o diâmetro da árvore. Durante o inverno as células do câmbio dispostas em uma camada fina permanecem inativas. Com a chegada da primavera, estas células começam a se multiplicar, formando-se novas camadas de células. As camadas internas das células formadas se transformam em alburno, as camadas do meio se transformam em novas células de câmbio, e as camadas externas se transformam em uma nova camada de feloderme. As células da camada feloderme antiga morrem, transformando-se em casca exterior.

A cada ano se forma uma nova camada de madeira no tronco da árvore. Durante este processo as células do câmbio ficam inativas no inverno, e se desenvolvem a partir da primavera. As camadas formadas durante o crescimento da árvore são identificadas visualmente em cortes transversais no tronco, conforme visto na figura 2.3. Estes anéis são chamados anéis de crescimento anual. Na região perto da raiz de uma árvore, ao se contar a quantidade de anéis, pode-se ter uma idéia próxima de quantos anos esta árvore possui.



Figura 2.3 – Detalhe dos anéis de crescimento anual (Prat, 2005).

### **2.3.3 – Influência do meio ambiente no crescimento das árvores**

As características da madeira são, intrinsecamente, relacionadas às condições ambientais do local em que cresce a árvore da qual será extraída.

Os nutrientes e substâncias absorvidas pelas raízes influenciam na cor da madeira. Esforços impostos ao tronco durante o crescimento de uma árvore, sejam pela ação do vento, ou pelo crescimento da árvore em local inclinado, irão influenciar na direção de crescimento de suas fibras.

Como consequência, nunca existirá uma árvore igual à outra. Do mesmo modo, as pranchas de madeira extraídas de troncos de árvores diferentes, porém da mesma espécie, nunca possuirão o mesmo desenho de veios. O tom da coloração da madeira entre madeiras de árvores diferentes de mesma espécie pode ser semelhante, ou até bem diferente.

## **2.4 – Propriedades da madeira**

### **2.4.1 – Dureza**

Dureza é a capacidade da madeira resistir à penetração, corte ou abrasão. A dureza de uma madeira quase sempre está relacionada à coesão de suas fibras e sua estrutura. As madeiras mais fibrosas são mais duras. Madeiras que possuem mais vasos são mais moles.

Em um tronco, a madeira localizada no cerne é mais dura, pois suas células já estão totalmente desenvolvidas e compactadas. A madeira localizada no albúrnio, parte externa do tronco, é composta por células novas, onde passam os vasos que transportam os nutrientes e a água na árvore. Esta região é menos densa, sendo assim menos dura. A madeira seca é mais dura que a madeira verde (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

A botânica classifica como madeiras moles aquelas provenientes de árvores coníferas, e madeiras duras aquelas provenientes de árvores folhosas. Esta classificação pode trazer um pouco de confusão, visto que existem madeiras provenientes de coníferas mais duras que madeiras provenientes de folhosas (Wagner, 1983).

#### **2.4.2 – Flexibilidade mecânica**

É a capacidade de uma madeira dobrar, ou curvar-se no sentido longitudinal ao receber um esforço, sem se quebrar, e quando este esforço cessar, voltar à sua forma inicial (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

Geralmente, as madeiras moles são mais flexíveis, que as duras. A madeira quando estiver verde, úmida, ou aquecida é mais flexível do que madeiras em estado de equilíbrio térmico e de umidade com o ambiente. Madeiras jovens também são mais flexíveis do que madeiras velhas.

Marceneiros se aproveitam da combinação destas características, quando desejam curvar uma madeira. Para facilitar a flexão, o lado externo da curva é umedecido, fazendo as fibras da madeira deste lado incharem. Em seguida a madeira é aquecida. O aquecimento possui duas funções: diminuir a umidade no lado interno da curva, fazendo as fibras da madeira deste lado se contrair, e amolecer a lignina da madeira aumentando também a sua flexibilidade.

#### **2.4.3 - Fendilhamento**

O fendilhamento é a capacidade de uma madeira se partir no sentido das fibras. Ele é medido pelo esforço necessário para vencer a força de coesão entre as fibras da madeira.

O esforço necessário para desgrudar uma fibra da outra é menor do que o esforço necessário para romper uma fibra de madeira com um esforço perpendicular ao seu sentido. Como todas as fibras de um tronco estão direcionadas para o mesmo sentido, é muito mais fácil romper uma madeira no sentido das fibras, do que no sentido perpendicular às fibras.

Este é um conceito importante para marceneiros e carpinteiros. Em peças de madeira que receberão esforços mecânicos, a direção da fibra da madeira deve sempre estar direcionada perpendicularmente à direção do esforço.

A figura 2.4 representa o fendilhamento causado pela penetração de uma cunha na ponta de uma peça de madeira.

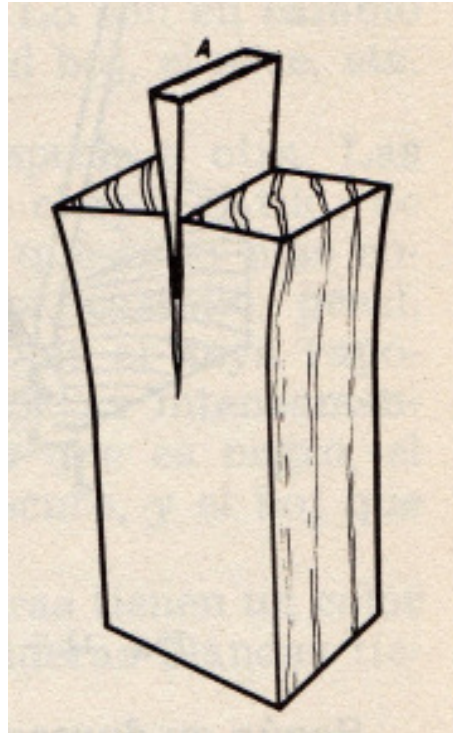


Figura 2.4 – Representação gráfica do fendilhamento (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

#### **2.4.4 – Plasticidade**

Em função dos espaços existentes entre as fibras, e a sua capacidade de compactação, as madeiras moles podem ser modeladas através de compressão entre um molde e um contramolde. Esta propriedade é muito utilizada na fabricação de peças com alto relevo.

#### **2.4.5 – Porosidade**

A porosidade de uma madeira está relacionada à compactação de suas fibras. Madeiras leves possuem fibras menos compactas, existindo espaços vazios entre elas formando os poros.

Madeiras pesadas ou resinosas são menos porosas, pois suas fibras são mais unidas, ou

os poros estão preenchidos com resina.

#### **2.4.6 – Capacidade de receber polimento**

O polimento é uma das últimas operações na fabricação de objetos de madeira. Ele é realizado através de lixamento, com o objetivo de deixar a superfície da madeira mais lisa, confortável ao tato, eliminar farpas, que poderão causar ferimentos durante o manuseio do produto final, e remover impurezas e restos de adesivos, para a aplicação do acabamento final com resinas seladoras ou cera.

A capacidade de uma madeira ficar lisa com o lixamento está diretamente relacionada com a sua porosidade. Quanto mais porosa, menos lisa será a madeira após o lixamento, pois sempre existirão espaços vazios entre as fibras.

As fibras das madeiras moles, ao receber lixamento, se separam ou se levantam, não permitindo um bom polimento da peça trabalhada.

As melhores madeiras para se obter um acabamento polido são as madeiras com fibras mais finas e compactas. Este tipo de fibra é encontrado em madeiras duras como o jatobá.

#### **2.4.7 – Higroscopicidade**

A madeira é um material higroscópico, ou seja, tem a capacidade de absorver ou perder água dependendo do ambiente em que se situa. Em ambientes mais úmidos, ela absorve água, e em ambientes secos ela perde água (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

A madeira pode mudar seu volume e peso, dependendo do grau de umidade que possui. A água absorvida dilata as células da madeira, como também se deposita entre as fibras aumentando seu volume.

#### **2.4.8 - Coloração**

A coloração da madeira é determinada pelas substâncias químicas contidas nas paredes de suas células, tais como tanino e resinas (Feirer, 1988). As madeiras provenientes de árvores coníferas possuem menos substâncias químicas em suas células, logo sua coloração é clara, ao contrário das madeiras provenientes de árvores folhosas, que possuem uma coloração mais escura.

Em alguns tipos de madeira ocorre a oxidação destas substâncias químicas, resultando

em um escurecimento superficial da madeira.

Entre os tipos de madeira, encontramos várias cores. A madeira pode ser clara como no pinho, pode ser amarelada como no cumarú e pau marfim, pode ser castanha como no jequitibá e peroba mica, pode ser vermelha como no jatobá, pode ser marrom escuro como no ipê, pode ser negra como no ébano, e até roxa como no caso do roxinho.

A cor é um dos mecanismos que ajuda na identificação da madeira. Porém, ao utilizar este mecanismo de identificação, se deve ter cuidado com madeiras com superfícies oxidadas. A tatajuba, por exemplo, é uma madeira com coloração amarelo-clara, mas quando se oxida adquire uma coloração marrom escuro. Para uma melhor identificação, com o auxílio de um formão, o marceneiro remove uma camada superficial da madeira, e, assim, pode verificar a verdadeira coloração da prancha.

#### **2.4.9 - Odor**

Cada tipo de madeira possui seu odor característico. Alguns tipos de madeira possuem um odor mais pronunciado, como exemplo o cedro, cerejeira e imbuia. Algumas madeiras possuem um odor muito agradável, como o sândalo, do qual se extrai a essência para a fabricação de perfumes. Nem todas as madeiras exalam odores agradáveis, por exemplo, há uma variedade de peroba que, quando molhada, exala um cheiro semelhante ao de esgoto.

O odor ajuda na identificação de algumas madeiras. As madeiras cedro e curupixá são muito parecidas. O odor característico do cedro permite ao marceneiro identificar uma da outra. Durante a usinagem da madeira, o odor da madeira fica mais pronunciado. Com o contato diário, o marceneiro se acostuma com o cheiro de cada madeira. Assim, além da identificação visual, o cheiro é outra ferramenta de identificação.

O odor também demonstra o bom estado da madeira. Madeiras em decomposição exalam um cheiro desagradável.

#### **2.4.10 – Condução elétrica**

A madeira seca é um ótimo isolante elétrico. Entre 1930 e 1950, a madeira era utilizada na fabricação de capas de plugs, chaves elétricas e isolantes de baterias. Ainda hoje, madeira impregnada com resina fenólica é utilizada como isolante elétrico em usinas de geração de energia elétrica (Desh, 1996).

À medida que aumenta a umidade da madeira, aumenta a sua condutividade na relação

do logaritmo da condução elétrica com o logaritmo da umidade. Esta característica é utilizada para medir o grau de umidade da madeira. Para tanto, são utilizados aparelhos elétricos, que medem a resistência à condutividade elétrica da madeira, e através de um fator de correção em função da espécie da madeira, o aparelho determina o grau de umidade (Desh, 1996).

#### **2.4.11 – Propriedades acústicas**

Dependendo do tipo de madeira ela serve para reforçar, refletir, ou, então, atenuar o som.

Existem madeiras que possuem a capacidade de reforçar e transmitir som. Em instrumentos musicais como violão, violoncelo, violino e piano, uma caixa de ressonância feita de madeira reforça o som da vibração de cordas.

Um exemplo de atenuação pode ser observado nos teatros. Para a construção do assoalho do palco não se utiliza madeiras duras, apesar de serem resistentes ao tráfego, como por exemplo, ipê, cumarú e peroba. Estas madeiras emitem som quando o artista anda no palco, e pelas características acústicas de um teatro, o som da pisada é amplificado, podendo atrapalhar o entendimento da fala dos artistas. Para o assoalho do palco de teatro é indicada a utilização de uma madeira mais mole, como o freijó, que em conjunto com amortecedores de neoprene atenua o som da pisada do artista.

#### **2.4.12 – Condução térmica**

Condução térmica é a medida de sua capacidade de transmitir calor. Ela é definida pela quantidade de calor, em joules, que se propaga durante o período de um segundo, em um metro quadrado de material, com espessura de um metro, com diferença de temperatura entre as suas superfícies de um grau Celsius (Desh, 1996). Quanto menor o valor, melhor isolante térmico é o material.

Em função de possuir espaços vazios entre as suas fibras, a madeira seca é um bom isolante térmico. Na madeira seca existem cavidades celulares preenchidas com ar, que é um mal condutor de calor. O isolamento térmico das madeiras de menor densidade é maior devido à sua maior porosidade. Devido à orientação das fibras, decorrente do arranjo celular, a condução de calor na madeira é maior no sentido longitudinal. Neste sentido existe maior continuidade de matéria.

Esta propriedade é um dos fatores, pelo qual até hoje se constroem casas de madeira,

principalmente em regiões frias. A utilização de madeira para fabricação de cabos de painéis é outro exemplo, onde a característica de isolamento térmico da madeira é aproveitada.

#### **2.4.13 – Combustibilidade**

A madeira é combustível. Na história da humanidade, a madeira sempre foi utilizada para a geração de calor, seja para aquecimento de um ambiente, na preparação de alimentos, na preparação de carvão vegetal para a indústria siderúrgica, combustível para fornos de olarias, na geração de vapor em caldeiras, etc.

Entre 30% e 40% da população mundial depende da queima de madeira para aquecimento doméstico e para cozinhar. Em 1980, a queima de madeira respondeu por 58% do consumo de energia total na África, representando mais do que isto em países como Quênia (68%), Etiópia (96%) e Moçambique (98%) (Goldemberg, 1998).

A energia térmica liberada da combustão da madeira vem da oxidação dos seus constituintes. Quanto maior a quantidade de madeira por volume, maior será o calor liberado. Conseqüentemente, quanto mais densa a madeira, maior será a sua capacidade de gerar calor.

Madeiras resinosas têm uma capacidade ainda maior para gerar calor. O calor gerado na oxidação da resina é por volta do dobro do calor gerado na oxidação da madeira propriamente dita.

O grau de umidade presente na madeira irá influenciar na sua capacidade de gerar calor. Quanto mais úmida a madeira, menos calor será gerado. Isto ocorre, pois boa parte do calor é consumido na transformação da água em vapor.

Muitas indústrias aproveitam os resíduos de madeira, derivados de seus processos produtivos na geração de calor, para a produção de vapor e energia elétrica.

##### **2.4.13.1 – Combustão da madeira**

Para descrever o processo de combustão da madeira, admite-se uma peça de madeira com superfície plana, não tratada, exposta a uma fonte de calor duradoura, com intensidade razoavelmente elevada e constante.

Inicialmente, o calor emitido irá aquecer a superfície da madeira por condução ou convecção. Devido à baixa condutibilidade térmica e o elevado calor específico da madeira, formam-se zonas isotérmicas, paralelas à superfície exposta ao aquecimento.

Com o aquecimento constante as isoterms avançam para dentro da madeira no



sentido do fluxo do aquecimento.

A primeira isoterma formada possuirá temperatura entre  $T_0$ , temperatura pouco superior à da madeira antes do surgimento da fonte de calor, e  $200^\circ\text{C}$ , conforme figura 2.5. Nesta região basicamente ocorrerá a secagem da madeira com a liberação de vapor.

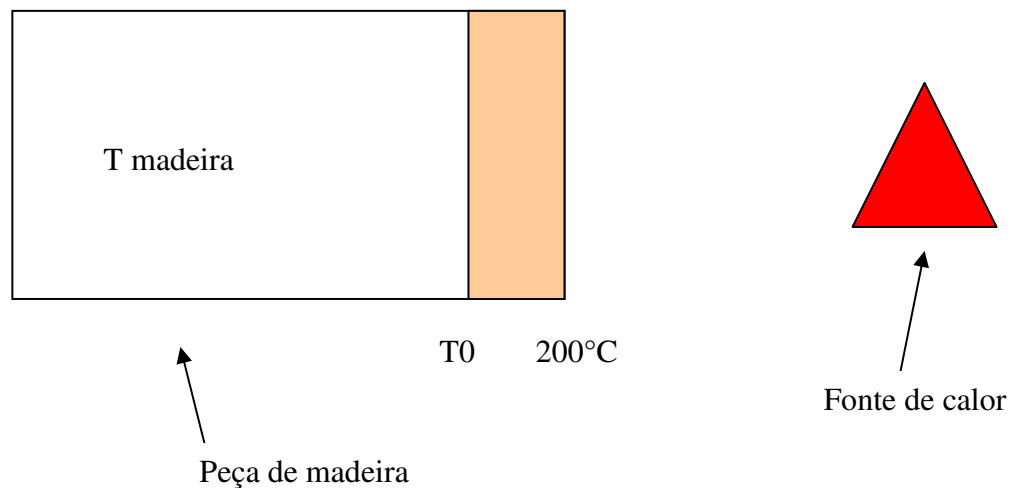


Figura 2.5 – Isotherma  $T_0$  e  $200^\circ\text{C}$

A presença da água na madeira aumenta a quantidade de calor necessário, para que ocorra o aumento de temperatura da madeira, já que parte do calor é consumido na evaporação da água. Em contra partida, a água presente aumenta a condutibilidade de calor na madeira, aumentando o fluxo de calor na região úmida.

Pode-se admitir que o fluxo efluente de vapor expulsa o oxigênio da superfície da peça de madeira. Assim, por ser um ambiente sem oxigênio, nesta fase não ocorrerão reações de combustão na superfície da peça, mas apenas reações de pirólise de caráter endotérmico.

Com a continuidade do aquecimento a superfície da peça de madeira se eleva até  $280^\circ\text{C}$ . A região compreendida pela isoterma  $T_0$  e  $200^\circ\text{C}$  avança para dentro da peça de madeira, formando-se uma nova isoterma  $200^\circ\text{C}$  e  $280^\circ\text{C}$ , conforme a figura 2.6. Os produtos gasosos decorrentes da pirólise desta região não são facilmente inflamáveis. Contudo, pode-se atingir condições exotérmicas a temperaturas inferiores, que na pirólise sem ar.

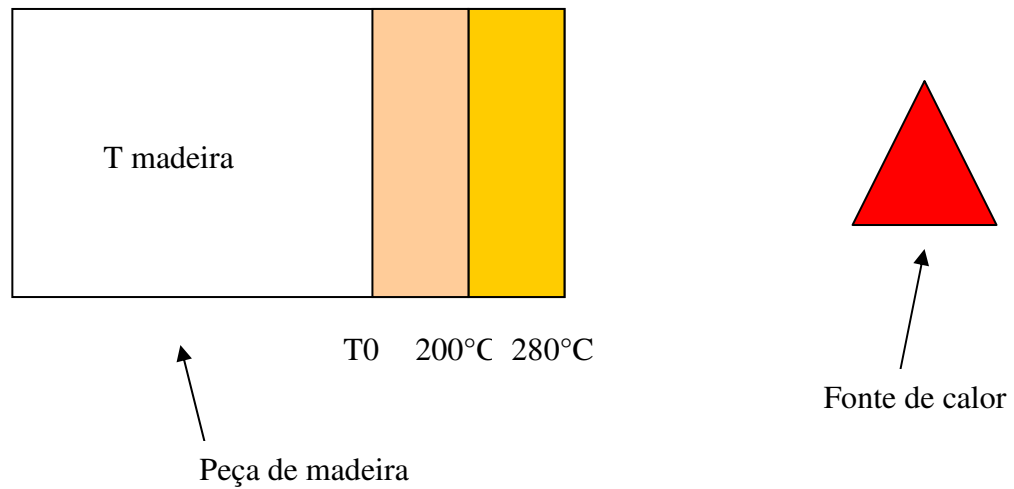


Figura 2.6 – Isoterma  $200^{\circ}\text{C}$  e  $280^{\circ}\text{C}$

Mantendo-se o fluxo de calor, as isotermas avançam ainda mais, e a temperatura na superfície da peça de madeira chega a  $500^{\circ}\text{C}$ , formando-se a isoterma  $280^{\circ}\text{C}$  e  $500^{\circ}\text{C}$ , conforme a figura 2.7.

Dentro desta isoterma, na parcela com temperatura até  $320^{\circ}\text{C}$ , a pirólise da madeira é endotérmica, pois parte do calor é consumido na degradação da celulose e da lignina. Na região com temperatura superior a  $320^{\circ}\text{C}$ , a pirólise da lignina passa a ser exotérmica, sendo um incremento de calor fornecido para as regiões mais frias da peça de madeira.

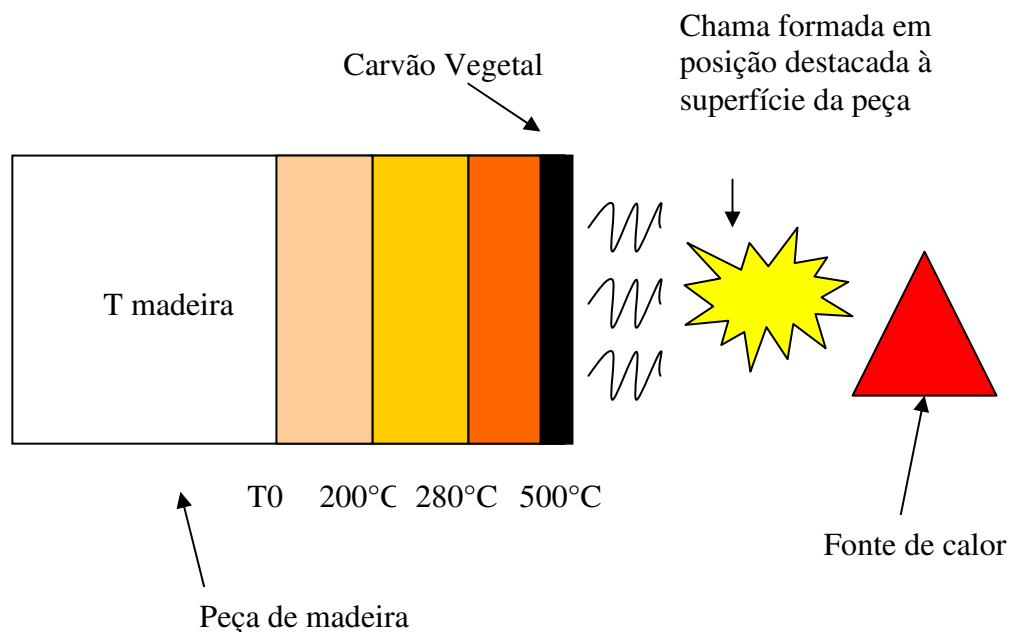


Figura 2.7 – Isoterma  $280^{\circ}\text{C}$  e  $500^{\circ}\text{C}$

Na isoterma 280°C e 500°C formam-se alcatrões, constituídos por líquidos de alto ponto de ebulição. Estes alcatrões são arrastados pelos vapores e gases, decorrentes da pirólise, para a superfície da peça de madeira. Assim, forma-se uma suspensão de gotículas de alcatrão efluente na fase gasosa, que é chamada de fumaça. Os produtos efluentes desta região são facilmente inflamáveis por uma chama piloto. Sem a presença da chama piloto, a mistura

Quando o grau de umidade da madeira é inferior ao do ambiente, ela absorve água. Conseqüentemente suas fibras aumentam de volume e a madeira incha. Quando o grau de umidade da madeira é superior ao do ambiente, ela perde água por evaporação. Conseqüentemente suas fibras diminuem de volume e a madeira se contrai. A condição de umidade no ambiente poderá fazer a madeira se contrair ou inchar. Madeiras jovens se movimentam mais do que madeiras velhas (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

Uma madeira submergida na água inchará, porém some

## 2.5 – Defeitos naturais da madeira

### 2.5.1 – Anéis de crescimento irregulares

São originários de interrupções no ciclo de crescimento da árvore, decorrentes de mudanças climáticas bruscas. A interrupção do ciclo de crescimento causará uma diferença de largura entre os anéis, e em alguns casos a ocorrência de mais de um anel no período de um ano. Este defeito não traz nenhuma desvantagem ao uso da madeira.

### 2.5.2 – Medula excêntrica

Este defeito ocorre quando a medula não se localiza no centro do tronco, conforme representado na figura 2.8. É um defeito decorrente pelo crescimento irregular dos anéis. Os anéis ficam mais largos em um lado do tronco, do que no outro. A ação dos ventos, ou concentração maior de sol em um dos lados da árvore são as principais causas. Pelo menos metade das árvores possuem este defeito, porém com um grau pequeno de desvio da medula. Caso este desvio seja mais exagerado, a madeira extraída deste tronco poderá apresentar problemas.

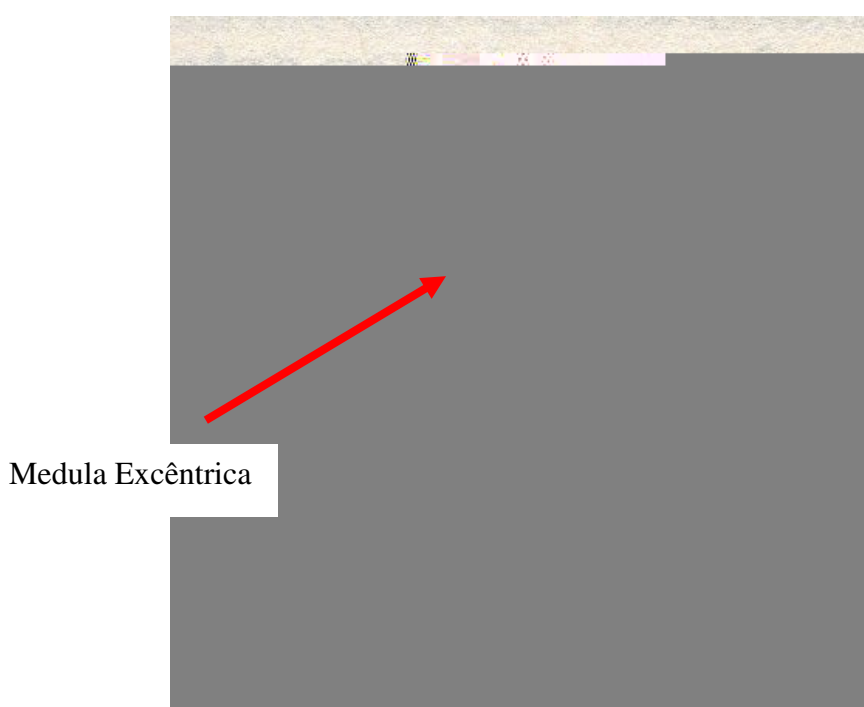


Figura 2.8 – Representação gráfica de medula excêntrica (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

### 2.5.3 – Nós

O nó é a região do tronco onde ocorre a intersecção com um ramo, ou galho. À medida que a árvore cresce no sentido radial, esta intersecção é coberta, ficando na parte interna do tronco. Por se encontrar na parte interna, o nó só será descoberto durante o desdobro da madeira.

Quando um ramo de um tronco morre, ele cai, porém sua intersecção com o tronco permanece. Esta parte, apesar de morta, é incorporada no tronco durante crescimento. Este é conhecido como nó morto, como mostrado na figura 2.9. Mesmo fazendo parte do tronco, não se adere à madeira formada em sua volta, podendo se soltar facilmente durante o trabalho com a madeira. A nodosidade é um fator limitante na utilização da madeira, já que reduz a sua resistência mecânica.

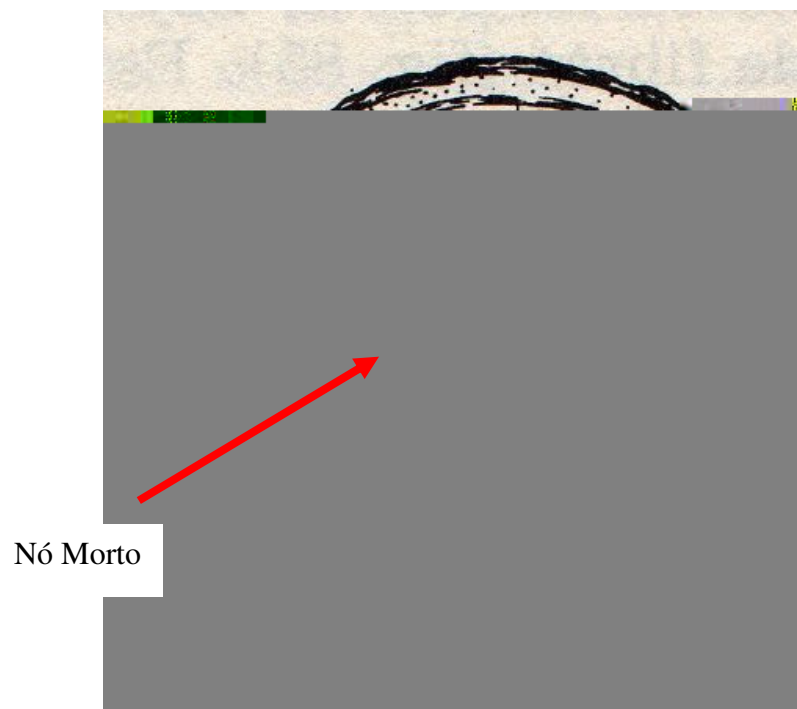


Figura 2.9 – Representação gráfica de um nó morto (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

### 2.5.4 – Fibras reversas

Também é conhecido como desvio de grã. Normalmente as fibras da madeira são orientadas no sentido do comprimento do tronco. Ocorre quando, por algum motivo, as fibras ficam dispostas em direção diferente ao eixo do comprimento do tronco.

Este desvio de grã contribui para a ocorrência de problemas no beneficiamento da madeira. No desdobro e na secagem da madeira poderão ocorrer empenamentos. Durante o processo de desgrosso da madeira, as fibras, ao invés de serem cortadas, são arrancadas, formando depressões na superfície da madeira.

### **2.5.5 – Tumor**

Também conhecido como tecido de cicatrização, acontece quando o tronco da árvore sofre um ferimento por impacto mecânico, ou ataque de inseto. Neste local, ocorre uma concentração de resina. Esta concentração de resina, posteriormente, é englobada ao tronco com o surgimento de novos tecidos de madeira, decorrente do crescimento da árvore.

### **2.5.6 – Ataques de insetos e fungos**

Os insetos que atacam a madeira com mais relevância são os cupins e os besouros. Os cupins alimentam-se da celulose. Os besouros estão relacionados aos fungos, existentes na madeira, dos quais se alimentam. Seus ovos são depositados na própria madeira. Seu ataque é devastador, conforme visto na figura 2.10.



Figura 2.10 – Exemplo de ataque de besouro em um tronco de árvore (Alesso, ca. 2006).

Outros insetos como traças, vespas, mariposas depositam seus ovos na madeira. Seus danos não são de grande importância.

Além dos insetos a madeira também é atacada por fungos. Existem dois tipos de fungos que atacam a madeira: fungos cromógenos e fungos xilófagos.

Os fungos cromógenos se alimentam das substâncias contidas nas cavidades celulares. Com o crescimento destes fungos ocorrem mudanças químicas nas cavidades celulares. Os materiais infiltrados nas cavidades formam manchas na madeira. Estas manchas não afetam a resistência da madeira, mas, sim, a sua aparência, inutilizando-a comercialmente. Um exemplo do ataque deste fungo são as manchas azuis que aparecem nas madeiras pau marfim e caixeta, quando expostas à umidade.

Os fungos xilófagos são conhecidos por degradarem a madeira, diminuindo a resistência da mesma, pela alteração de suas propriedades físicas e químicas das paredes e cavidades celulares. Estes fungos pertencem à classe dos Basidiomicetos. Um tipo deste fungo é o que causa a podridão parda, que destrói os polissacarídeos da parede celular da madeira. Outro tipo é o fungo que causa a podridão branca. Este fungo além de atacar os polissacarídeos, também ataca a lignina da madeira (Teixeira, 1997).

## **2.6 - Defeitos no beneficiamento da madeira.**

Entre o corte de uma árvore e o início da utilização da madeira por um marceneiro, a madeira passa pelos processos de desdobro e secagem. Durante estes processos, por falta de mão de obra especializada, falta de treinamento, utilização de equipamentos inadequados, ou falta de manutenção dos equipamentos, podem ocorrer os defeitos de beneficiamento da madeira.

Desdobro é o processo, pelo qual toras de árvores são transformadas em pranchas, ou peças menores de madeira, através de processo de corte. O desdobro deve ser feito de maneira a se aproveitar ao máximo as toras, tirando as peças desejadas nas medidas corretas, sem forçar o maquinário (Gatto, 2004).

A secagem é o processo pelo qual a umidade da madeira se equilibra com a umidade do meio ambiente, e, por consequência, a madeira atinge o equilíbrio volumétrico. É uma das atividades mais importantes na preparação da madeira, para o início da sua utilização. Uma secagem bem sucedida é aquela feita no menor tempo possível, alcançando um teor de umidade próximo do equilíbrio com o ambiente, e com uma pequena incidência de defeitos (Gatto, 2004).

Convencionalmente, a madeira é seca ao ar livre, conforme visto na figura 2.11. Neste processo, a madeira é empilhada em local com ventilação, e, por evaporação a madeira perde sua umidade. As pranchas devem ser separadas por tabiques, permitindo a passagem de ar entre elas. A ausência dos tabiques dificultará a secagem das pranchas do meio da pilha,



facilitando o ataque de fungos, e causará uma secagem desequilibrada entre as faces das pranchas localizadas na parte superior e inferior da pilha.

É ideal, que o local seja coberto para proteger a madeira da chuva e raios solares. Apesar de ser um processo simples, com a utilização de poucos equipamentos, ocupa uma grande área, e por depender das condições climáticas não é possível prever com precisão a data do seu término.

A secagem de madeiras de maior densidade é mais crítica. Estas madeiras, por serem mais compactas, possuem mais dificuldade para perder umidade. Esta dificuldade aumenta o gradiente de umidade entre a superfície da madeira e do seu centro, e, conseqüentemente, a incidência de defeitos de secagem.



Figura 2.11 – Secagem de madeira ao ar livre (Prat, 2005).

A secagem ao ar livre pode ser complementada com a secagem em estufa. A madeira é colocada em uma estufa com temperatura e teor de umidade interna controlada, de modo que a perda de umidade da madeira seja acelerada, porém com uma baixa ocorrência de defeitos. As grandes indústrias de produtos de madeiras sólidas, na região sul do país, introduziram a secagem de madeira variedade Pinus em estufas no final da década de 1980. Nesta época não existiam mais que 50 estufas para a secagem de Pinus. Hoje, encontram-se em operação mais de 1.500 estufas (Remade, dez. 2002).

A utilização de estufas para secagem, praticamente, só é feita pelas grandes indústrias de móveis e de assoalhos. É imperativo, a secagem da madeira utilizada na fabricação de assoalhos. O assoalho, depois de instalado, não pode mais sofrer empenamentos, ou qualquer tipo de movimentação decorrente da utilização de madeira verde. A grande parte dos móveis produzidos pelas grandes indústrias é para exportação. Na exportação, devem ser tomadas todas as precauções para que não ocorram defeitos nos móveis, visto que é economicamente inviável a manutenção, ou troca. No transporte por navio os móveis vão dentro de *containers*. Devido à exposição ao sol, a temperatura interna do contêiner se eleva, se comportando como uma estufa, e se o móvel for fabricado com madeira verde, ele chega ao seu destino com vários problemas causados pela contração da madeira.

Estas empresas compram grandes lotes de madeira diretamente de serrarias. Muitas vezes a secagem é feita em uma estufa próxima ao local da serraria, para a obtenção de economia no frete. Segundo Reis (2006), no transporte da madeira, a limitação da carga nem sempre é definida pelo seu volume, mas sim pelo seu peso. Um caminhão trucado pode carregar até 20m<sup>3</sup> de cedro úmido, enquanto que, se a madeira for ipê úmido, o caminhão consegue carregar apenas 11m<sup>3</sup>. Isto ocorre porque o peso do metro cúbico do ipê é quase o dobro do peso do metro cúbico do cedro. Se a madeira for seca em estufa antes do transporte, com a redução do peso pela perda de água, a capacidade de carga aumenta por volta de 20%.

Apesar do constante desenvolvimento tecnológico, ainda existem problemas de secagem em estufas. As principais causas destes pro

Este defeito pode ocorrer pela má regulagem das serras de desdobro, pela baixa qualidade da mão de obra, e variações volumétricas em função da absorção, ou perda de água da madeira (Gatto, 2004).

Convém ao marceneiro conferir a espessura de cada prancha, na hora da compra da madeira, principalmente quando precisar tirar peças com espessuras muito próximas da espessura padrão.

Muitas vezes o marceneiro pode sair perdendo na hora do cálculo da cubagem da madeira na sua compra. Apesar de a madeira estar com espessura fora de padrão, no cálculo da cubagem é utilizada a medida padrão. Exemplificando, o marceneiro pode estar comprando madeira de 3,5 cm de espessura e pagando madeira de 4 cm.

Outro defeito é o desbitolamento. Ele ocorre quando uma mesma prancha de madeira possui variação de espessura. Este defeito é decorrente de uma serragem mal feita, ou problemas no equipamento de corte, não permitindo que o mesmo seja feito em direção retilínea.

A prancha de madeira também pode apresentar empenamentos durante o corte. Tensões internas na madeira, decorrente do crescimento da árvore, poderão causar empenamentos na madeira, quando esta for cortada.

### **2.6.2 – Defeitos na secagem da madeira**

A falta da secagem, ou secagem mal feita da madeira são as principais causas do baixo padrão de qualidade dos produtos. Os principais defeitos ocorridos na secagem da madeira são: rachaduras, empenamentos, colapso e encruamento.

Na secagem ocorrem dois tipos de rachadura: rachadura superficial e rachadura nas pontas da prancha.

A rachadura superficial ocorre quando a superfície da prancha seca muito mais rápido do que o seu miolo, formando um gradiente de umidade. Enquanto as células da madeira na superfície encolhem, as células no miolo da prancha permanecem cheias de água e estufadas. Esta diferença de volume entre as células causará tensões perpendiculares às fibras superficiais. Se estas tensões forem superiores à força de coesão das fibras da madeira, ocorrerão as rachaduras na superfície da prancha. Quanto mais grossa a prancha de madeira, maior a possibilidade de ocorrer este problema.

As rachaduras nas pontas ocorrem, porque a madeira tem mais facilidade de perder umidade pelo topo das duas extremidades. Como as extremidades da prancha secam antes que

o seu centro, a largura da prancha nesta região tende a diminuir, enquanto no centro, a largura permanece a mesma. As tensões formadas causam as rachaduras nas pontas. Para reduzir este problema, pintam-se os topos da prancha com tinta impermeabilizante, de modo que a prancha de madeira não perca umidade pelas pontas.

Diz-se que uma prancha de madeira está empenada, quando pelo menos uma das suas faces não for plana. O empenamento ocorre, quando diferenças de tensões superficiais na prancha de madeira façam uma de suas superfícies, que antes era plana, fique curva. Estas diferenças de tensões são decorrentes de secagem rápida, não uniforme, secagem somente em uma face da prancha, ou grã irregular. Também é comum a ocorrência de empenamentos pela falta de preparação dos funcionários que irão formar as pilhas de madeira. Neste caso empenamento pode ocorrer na secagem pela utilização de tabiques separadores das pranchas, possuindo dimensões diferentes, ou tabiques em posição incorreta. Este problema pode ser resolvido com treinamento e a utilização de gabaritos.

Quando o empenamento ocorre na face da prancha no sentido do comprimento, ou seja, quando a prancha estiver sobre uma superfície plana, suas extremidades estiverem apoiadas e o centro da prancha desapoiado, diz-se que a madeira está arqueada, conforme representado na figura 2.12.



Figura 2.12 – Representação gráfica do arqueamento (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

Quando o empenamento ocorre na face da prancha no sentido da largura, ou seja, quando a prancha estiver sobre uma superfície plana, as margens no sentido do comprimento da prancha não ficam encostadas nesta superfície, diz-se que a madeira está encanoada, conforme representado na figura 2.13.

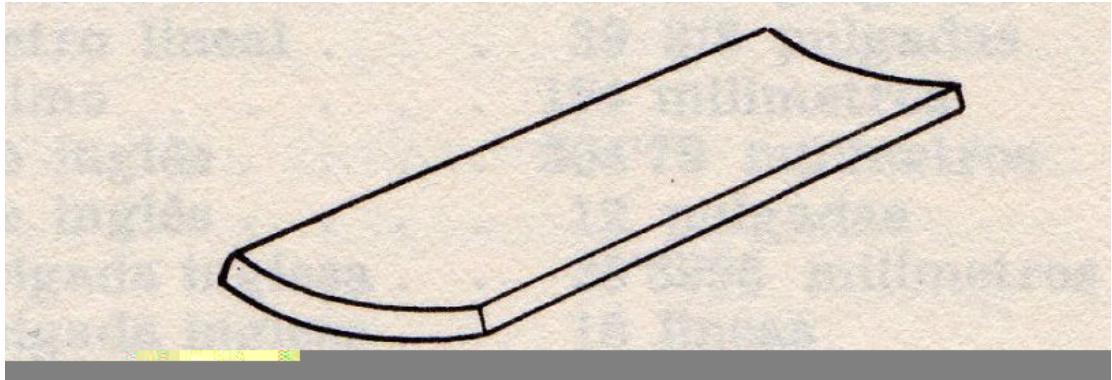


Figura 2.13 – Representação gráfica do encanoamento (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

Quando prancha de madeira tem o formato de hélice, diz-se que a madeira está torcida, conforme representado na figura 2.14. Este tipo de empenamento ocorre em madeiras provenientes de árvores com grã dispostas em forma de uma espiral.



Figura 2.14 – Representação gráfica da madeira torcida (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

Para utilizar uma madeira, que possui um destes três tipos de empenamento, é necessário desbastar a madeira na plaina desempenadeira, de modo que o plano inferior fique reto. Em seguida a prancha é passada na desgrossadeira para deixar o plano superior reto e paralelo ao plano inferior. Neste processo, perde-se boa parte da espessura da madeira.

Quando o empenamento ocorre na lateral da prancha no sentido do comprimento, diz-se que a madeira está encurvada, conforme representado na figura 2.15.

Para utilizar esta madeira, é necessário passar o lado côncavo da lateral da prancha na plaina desempenadeira, até que este lado fique reto. Utilizando-se o lado que ficou reto como apoio, cortar o lado convexo da prancha na serra circular, de modo que as duas laterais da

prancha fiquem paralelas. Neste processo perde-se madeira na largura.



Figura 2.15 – Representação gráfica da madeira encurvada (Biblioteca Profissional E.P.S., 1971).

Ao comprar madeira, o marceneiro tem que tomar muito cuidado. Não basta conferir apenas o comprimento, largura, e espessura para tirar uma peça da prancha. Deve-se também conferir se existe algum tipo de empenamento, pois uma pequena curvatura na prancha pode ser suficiente para inviabilizar a sua utilização para um serviço.

O colapso são distorções na superfície da madeira em forma de ondulações. É causada pela deformação da célula da madeira em função da movimentação da água capilar. Ele ocorre quando a tensão formada pela movimentação da água é maior que a resistência à compressão da madeira.

As principais causas do colapso são: pequeno diâmetro dos capilares, altas temperaturas no início da secagem da madeira, e em algumas madeiras a sua baixa densidade (Jankowsky, 2002).

O encruamento ocorre quando a secagem é feita muito rapidamente. A superfície fica muito seca, enquanto o miolo da prancha continua úmido. A superfície se retrai, enquanto o miolo da madeira continua inchado. Continuando o processo de secagem, o miolo também se retrai, porém a superfície da prancha não acompanha esta retração. Como consequência, ocorrem na prancha rachaduras internas, que são percebidas somente após a sua utilização (Jankowsky, 2002).

## **2.7 – Principais dificuldades da utilização de madeira maciça por marcenarias de pequeno porte localizadas em grandes centros urbanos.**

Conforme citado na introdução, 88% das micro e pequenas empresas formais na área de marcenaria se localizam em grandes metrópoles (Gorini, 1998). Se considerarmos as empresas informais este número aumenta. Estas empresas são familiares, com baixo poder econômico, e baixa capacidade tecnológica. Estas empresas estão instaladas em pequenos galpões, pequenas salas, e até garagens. Estas características contribuem para a não utilização de madeira maciça por pequenas marcenarias.

Praticamente todas as madeireiras localizadas nas grandes metrópoles, que vendem no mercado varejista, não mandam secar madeira em estufa devido ao custo, com exceção do marfim e da caixeta. Estas duas madeiras se não forem secas em estufa, pela ação de fungos, poderão apresentar manchas azuis, perdendo seu valor comercial. O preço da secagem da madeira no local da sua extração acresce de R\$ 100,00 a R\$ 150,00 por metro cúbico, dependendo do tipo de madeira. Esta variação ocorre devido à distância entre a estufa e a serraria, bem como a diferença de facilidade entre as variedades de madeira para perder umidade, requerendo maior ou menor tempo de secagem (Reis, 2006). O MDF absorveu grande parte do mercado de madeira maciça, por possuir um custo menor, exigir menos maquinário e de menor porte para sua utilização, e gerar menos resíduos. Se as madeireiras aumentarem o custo da madeira maciça com a secagem, perderão ainda mais mercado. Para atender à necessidade de vender madeira seca, as madeireiras são obrigadas a trabalhar com grandes estoques. Enquanto a madeira não é vendida, fica estocada secando naturalmente. Madeiras compradas em madeireiras, que não possuem estoque, têm uma boa probabilidade de serem úmidas (Reis, 2006).

As pequenas marcenarias, dificilmente, compram madeira seca em estufa diretamente das serrarias. Esta compra só é viável, se for adquirida uma carga completa de caminhão, que representa uma quantidade grande para uma pequena marcenaria.

Após comprar a madeira no mercado varejista, os marceneiros, assim como as madeireiras, também não mandam secá-la. Se o marceneiro mandar secar a madeira comprada na madeireira, irá pagar pela secagem de R\$ 200,00 a R\$ 300,00 por metro cúbico. Este aumento é decorrente do frete necessário para levar a madeira até a estufa, normalmente localizada fora dos centros urbanos, e depois trazê-la de volta. Além do alto custo existe o risco de ocorrerem rachaduras, empenamentos e o encruamento da madeira na secagem, que fica por conta do marceneiro (Reis, 2006).

Assim, como para as madeiras, uma opção para o marceneiro é o processo natural de secagem. Este processo é lento, e, normalmente, o marceneiro precisa da madeira imediatamente. Este processo ocupa espaço físico. As pranchas de madeira devem ser armazenadas, espaçadas através de tabiques, em local ventilado. O espaço físico necessário nem sempre é disponível, visto que grande parte das marcenarias está instalada em pequenos galpões ou garagens. Além disso, as marcenarias pequenas nem sempre possuem capital de giro suficiente para trabalhar com estoques de madeira.

Para se evitar problemas futuros nos produtos finais, decorrentes da contração volumétrica, antes de ser utilizada, a madeira deve possuir grau de umidade em equilíbrio com o ambiente. Pela limitação econômica e tecnológica, a maioria dos marceneiros não possuem medidores de umidade. Assim só percebem que a madeira está úmida através do tato, quando já estão trabalhando com ela. Algumas vezes os marceneiros não percebem, pois o grau de umidade está próximo do equilíbrio, porém ainda acima, podendo ainda ocorrer contrações significantes, dependendo do tipo de madeira.

Na época de chuva, que vai de novembro a abril, é impossível o transporte da madeira entre o local de extração e a estrada de asfalto, já que o acesso é através de estradas de terra sem nenhuma infra-estrutura. Como a margem de lucro com a exportação é maior, nesta época falta madeira no mercado interno. Conseqüentemente, pela lei da oferta e procura, o preço da madeira aumenta.

O maquinário é outro fator limitante para a utilização de madeira maciça por pequenas marcenarias. Quando se trabalha com madeira maciça é necessária a utilização de algumas máquinas, como destopadeiras, desdobradeiras, desgrossadeiras, serras mais potentes e robustas, respigadeiras, que não são necessárias no trabalho com chapas de madeira reconstituída. Neste caso o espaço físico e a limitação econômica são barreiras para a utilização da madeira maciça por pequenas marcenarias.

Do ponto de vista ambiental, o trabalho com madeira maciça gera mais resíduo, e produz mais barulho em relação ao trabalho com chapas de madeira reconstituída. Nas regiões metropolitanas, o barulho gerado causa desconforto aos vizinhos, que por sua vez, fazem reclamações junto aos órgãos de controle ambiental. As ações rígidas destes órgãos trazem problemas às marcenarias através de multas e, em alguns casos, o fechamento do estabelecimento.



## 2.8 – Aplicações da madeira

Tendo em vista as suas propriedades físicas e mecânicas, sua abundância, ser um material renovável, a madeira possui várias aplicações. A seguir alguns exemplos por área de utilização da madeira são apresentados.

Construção civil: casas, pontes, construções temporárias, gasebos, portões, cercas, batentes, portas, janelas, pergolados, rodapés, roda tetos, guarda corpos, corrimãos, decks, assoalhos, cavaletes, cordões, lambris, painéis, forros, escadas, degraus, guarnições, molduras, vigas, colunas, pontaletes, entarugamentos, formas para concreto, isolantes acústicos, etc.

Peças de adorno: peças entalhadas, artesanatos, esculturas, marchetarias, pirografias, peças torneadas, moduras, apliques, etc

Mobiliário: mesas, cadeiras, bancos, bancadas, balcões, estantes, buffets, camas, etc.

Objetos de uso geral: lápis, cabos de ferramentas, cabos de panelas, cabos de talheres, colheres, espichadores de massa, caixinhas, tábuas de bater carne, cabos de escovas de cabelo, batedores, pilões, palitos em geral, cabos de vassouras, implementos agrícolas, coronhas de armas, saltos para calçados, tamancos, réguas, barris, tonéis, etc.

Indústria: papel, papelão, MDF – *medium density fibreboard*, OSB – *oriented strand board*, aglomerados, formas para calçados, moldes para fundição, caixas, embalagens, engradados, pallets, biomassa, carvão vegetal, etc.

Transportes: carroças, carretas para transporte de lanchas, carrocerias de caminhões e de vagões de trem, dormentes para trilhos de trem, etc.

Naval: barcos, canoas, mastros, remos, jangadas, balsas, piers, etc.

Aviação: hélices para pequenos aviões.

Eletricidade: isolantes, postes, carretéis para cabos de transmissão elétrica, etc.

Entretenimento: brinquedos, instrumentos musicais, brinquedos para parques, aeromodelismo, nautimodelismo, montanhas russas, caixas de som, etc.

Esportes: raquetes de tênis de mesa, pranchas, cabeças de tacos de golfe, tacos de bilhar, mesas de bilhar, tacos de pólo, tacos de cricket, tacos de hockey, arcos e flechas, bolas, piso para velódromos de bicicleta, equipamentos de ginástica, bastões, etc.

### 3.0 – COMPÓSITOS DE MADEIRA

A pesquisa de novos materiais é uma atividade ininterrupta. As descobertas de novos materiais, tais como polímeros, cerâmicas e fibras, e o domínio de novas tecnologias, permitem a construção de objetos resistentes e leves ao mesmo tempo, objetos que suportam grandes temperaturas, objetos fabricados a partir da reciclagem de materiais, etc.

Dentre os novos materiais, se destacam os compósitos. O desenvolvimento de compósitos tem como objetivo a criação de materiais com propriedades diferentes dos materiais existentes normalmente na natureza.

Através dos compósitos, podemos fabricar materiais leves, porém com resistência superior à do aço, como no caso da fibra de carbono. Utilizada na indústria da aviação, reduz o peso de aeronaves, e, conseqüentemente, o consumo de combustível.

A tecnologia de compósitos possibilita a criação de materiais supercondutores, permitindo a fabricação de componentes eletrônicos cada vez menores.

Também podemos fabricar cerâmicas que funcionam com isolantes térmicos, permitindo a reentrada de espaçonaves na atmosfera.

Na indústria da madeira também ocorre esta evolução. Vários materiais foram desenvolvidos com o objetivo de superar os defeitos naturais da madeira maciça, bem como os defeitos decorrentes de seu beneficiamento, citados no capítulo 2.0, e, ao mesmo tempo, preservando grande parte de suas propriedades positivas. Podemos citar, por exemplo, as chapas de madeira compensada, chapas de madeira aglomerada, chapas de MDF – *Medium Density Fiberboard*, chapas de OSB – *Oriented Strand Board*. Estes materiais são produzidos a partir da madeira, porém possuem muitas vantagens sobre a mesma.

#### 3.1 – Definição de compósito

Segundo Smith (1998), materiais compósitos são misturas de dois ou mais materiais. A maioria dos materiais compósitos consiste numa mistura de um material de reforço ou de enchimento, devidamente selecionado, com um material compatível, que serve como ligante, chamado matriz.

#### 3.2 – Madeira e seus compósitos

Considerando a definição de compósito apresentada acima, a madeira pode ser

classificada como um compósito natural. O que é ratificado por Smith (1998), para quem a madeira é um material compósito natural, constituído essencialmente por um arranjo complexo de fibras de celulose, que age como material de reforço, ligadas por uma matriz de material polimérico, composto principalmente por lignina.

A formação da madeira segue um processo natural não controlado. Este processo depende de muitas condições ambientais do local, onde cresce a árvore da qual a madeira será extraída. As substâncias químicas absorvidas pela árvore, as condições climáticas do local, o relevo, a direção e intensidade dos ventos, quantidade de luz solar recebida, são alguns exemplos de fatores, que influenciam na maneira, que se formam as das fibras que compõem a madeira. Como são fatores variáveis no decorrer do tempo, e diferentes de região para região, a madeira extraída de uma árvore nunca será exatamente igual à madeira extraída de outra árvore, mesmo que seja de mesma espécie. Dentre estas diferenças se pode citar variações de resistência, diferenças de cor e desenho de fibras, e muitas vezes a ocorrência de defeitos decorrentes do crescimento da árvore, que não são percebidos até o início do beneficiamento da madeira.

As perdas elevadas no beneficiamento da madeira, a limitação da prancha de madeira em função da largura do tronco da árvore, movimentação e empenamentos da madeira decorrente da mudança do grau de umidade do ambiente, são fatores que incentivaram o desenvolvimento da tecnologia de compósitos de madeira.

Materiais como o compensado, aglomerado, OSB, e o MDF, foram desenvolvidos para reduzir as perdas de material, bem como agilizar e facilitar o processo de fabricação de produtos de madeira.

Ao contrário da madeira maciça, a fabricação destes compósitos segue um processo controlado. Todas as variáveis, tais como teor de adesivo, tipo e quantidade de fibra de madeira, teor de umidade, ciclo de prensagem, são conhecidas e constantes. Desta maneira o produto resultante deste processo produtivo possuirá uma baixa incidência de defeitos, e características físicas e estéticas constantes e previsíveis.

Uma grande vantagem da indústria de compósitos de madeira é que sua matéria prima é renovável. A possibilidade da utilização de madeira de reflorestamento, além de garantir matéria prima inesgotável, contribui para a redução da exploração de florestas naturais. Através do reflorestamento, com a utilização de árvores de ciclo de vida curto para a produção de compósitos, além de permitir uma fonte inesgotável de matéria prima, também ocorre uma contribuição na captura de carbono da atmosfera.

### 3.2.1 – Compensado de madeira

#### 3.2.1.1 – Definição do compensado

É uma chapa constituída de lâminas de madeira coladas através de resina sintética a base de formol. Possui vários usos, principalmente na indústria moveleira e na construção civil. Existem três tipos de compensado: laminado, sarrafeado e multisarrafeado.

O compensado laminado é o mais utilizado. É composto por camadas de lâminas de madeira coladas entre si, conforme se apresenta na figura 3.1. A cada camada de lâmina, o sentido das fibras é perpendicular à outra, com o objetivo de aumentar a resistência mecânica, reduzir os empenamentos, e diminuir a movimentação decorrente da modificação de umidade no ambiente. As lâminas externas são da mesma madeira das lâminas do miolo do compensado, ou de madeira de outra espécie. Normalmente se utilizam madeiras macias para as lâminas do miolo, pois estas costumam ser mais estáveis quanto a movimentos e empenamentos. As lâminas externas são decorativas, sendo utilizadas lâminas com melhor qualidade estética. Quanto maior a quantidade de camadas de lâminas na chapa de compensado, maior será a uniformidade das propriedades mecânicas nas duas direções do plano da chapa, em função da maior distribuição de tensões na chapa em situações com carga.

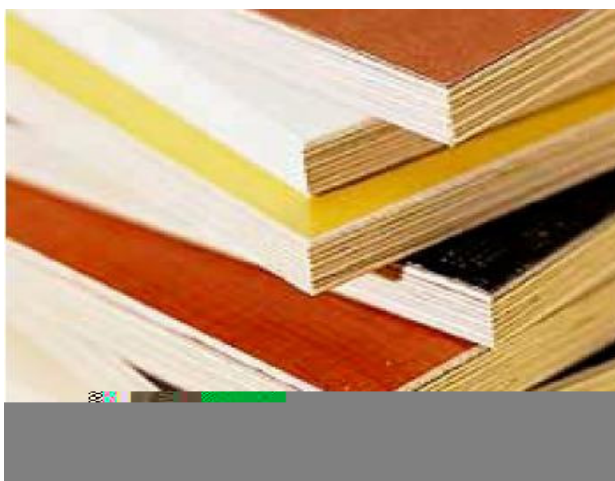


Figura 3.1 – Exemplo de chapas de compensado laminado revestidas com melamina colorida (NIEM, 2006).

Existem dois tipos de compensado laminado: *standard* e o naval. O compensado *standard* é o compensado para uso em ambientes internos. As lâminas são coladas através de resina uréia formol. O compensado naval é o compensado para uso em ambientes externos.

As lâminas são coladas através de resina fenol formol, resistente à umidade. O compensado laminado normalmente é fabricado nas espessuras 4 mm, 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm, 18 mm, 20 mm, e 25 mm.

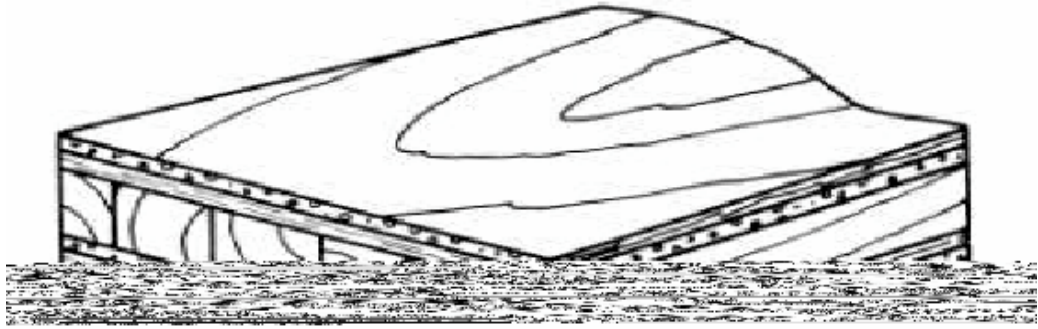


Figura 3.2 – Compensado sarrafeado (WPIF, 2004).

O compensado sarrafeado consiste em uma chapa com miolo de sarrafos de madeira dispostos e colados lado a lado, revestido nas duas faces com capa de lâmina de madeira, conforme se apresenta na figura 3.2. Apesar de ser mais caro, este compensado é mais estável quanto a empenamentos em relação ao compensado laminado, sendo muito utilizado para a confecção de portas de armários. É produzido nas espessuras de 15mm, 18mm, 20mm e 25mm.

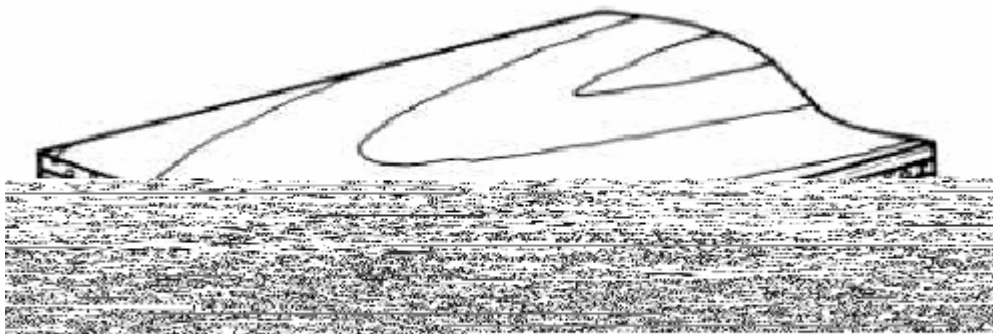


Figura 3.3 – Compensado multisarrafeado (WPIF, 2004).

O compensado multisarrafeado consiste em uma chapa com miolo de lâminas prensadas, coladas verticalmente, revestida nas duas faces com capa de lâmina de madeira, conforme se apresenta na figura 3.3. Também, como o compensado sarrafeado, o compensado

multisarrafeado é mais caro, porém mais estável quanto a empenamentos em relação ao compensado laminado. É produzido nas espessuras de 15 mm, 18 mm, 20 mm e 25 mm

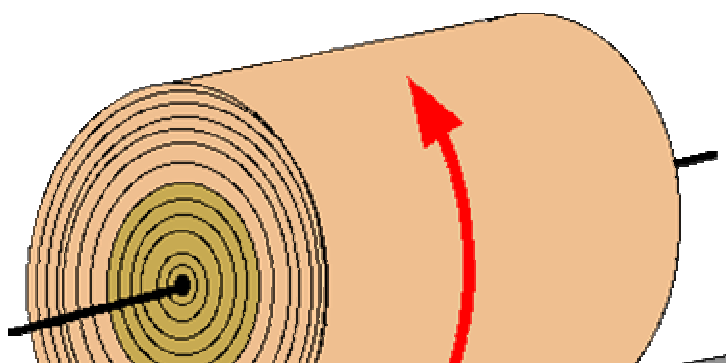
### 3.2.1.2 - Produção do compensado

Em 1998, a produção brasileira de chapas de compensado foi de 1.650.000 m<sup>3</sup>, sendo que 40% das chapas produzidas foram para exportação (Iwakiri, 2001).

Grande parte da madeira necessária para a produção de chapas de compensado no Brasil é obtida de espécies de árvores folhosas da região amazônica, e do pinho da Região Sul.

A redução da oferta de madeiras nativas de boa qualidade, e a pressão de órgãos ambientais na preservação das florestas da região amazônica são fatores, que contribuíram, a partir da década de 1990, ao início da utilização de madeira de reflorestamento para a produção de compensados, principalmente das espécies *Pinus Elliottii* e *Taeda*. Estas espécies demonstraram ter boas características na laminação (Iwakiri, 2001).

As lâminas de madeira são extraídas do tronco com a utilização de tornos laminadores ou guilhotinas. Nos tornos laminadores, o tronco gira em torno do seu próprio eixo, enquanto uma faca avança cortando a madeira em forma de lâmina, conforme se apresenta na figura 3.4. Na guilhotina, o tronco fica preso nas pontas por garras, enquanto uma faca corta a madeira tangencialmente em relação ao comprimento do tronco. Para facilitar o corte em ambos os casos, a madeira é aquecida em água para amolecer. Este processo de aquecimento causa um pequeno escurecimento da madeira.



Após a laminação, a folha de madeira é seca para em seguida ser encolada e prensada.

Inicialmente, o compensado é prensado a frio para a eliminação de ar entre as lâminas. Em seguida a chapa de compensado é prensada a quente, a uma temperatura de 90°C a 100°C, a uma pressão de 30psi a 300psi por aproximadamente 5 minutos. A temperatura máxima não deve ultrapassar os 100°C, pois a grande formação de vapor pode causar bolhas entre as lâminas (Meyer, 1979).

As resinas utilizadas na colagem das lâminas de madeira são as resinas uréia formaldeído e fenol formaldeído. O filme de adesivo formado entre as lâminas de madeira, deve ser suficientemente resistente para suportar as tensões entre as lâminas de madeira durante a utilização do compensado.

Extensores são normalmente adicionados à resina na colagem de compensados. No Brasil, utiliza-se muito a farinha de trigo como extensor. Sua principal função é não permitir que o filme de resina infiltre entre as fibras da lâmina de madeira, causando manchas na capa do compensado. O extensor também ajuda na performance mecânica, porém diminui a resistência do compensado à umidade.

### **3.2.1.3 – Características do compensado**

O tamanho da chapa não depende da largura da árvore, da qual suas lâminas foram extraídas. As lâminas podem ser obtidas de madeira de reflorestamento. O rendimento médio da madeira na produção de compensado desde a laminação da madeira é baixo, sendo de aproximadamente 36% (Bonduelle, 1992).

O compensado possui fibras cruzadas permitindo uma resistência mecânica semelhante no sentido da largura e no sentido do comprimento. A disposição das fibras em sentidos perpendiculares a cada camada, reduz a movimentação causada pela modificação da umidade do ambiente, já que o movimento tangencial de uma camada é reduzido pelo movimento longitudinal da outra camada.

Apesar da disposição cruzada das fibras, quando a peça de compensado possuir comprimento muito maior do que a largura, esta peça terá uma tendência a empenar no sentido do comprimento.

O compensado permite a utilização de parafusos comuns, o que não é recomendado para chapas de aglomerado e MDF. Para sua colagem é possível a utilização de todos adesivos compatíveis com madeira maciça, tais como uréia formaldeído, PVA – polivinil



acetato (conhecida como cola branca), cola de contato, resinas fenólicas, etc.

Algumas chapas de compensado podem apresentar defeitos, tais como empenamento, espaços vazios no seu interior, falhas na lâmina da capa resultando em irregularidades superficiais, descolamento de lâminas, sobreposição de lâminas, e ocorrência de nós na lâmina da capa. No caso de compra de compensado revestido com folha de madeira decorativa é necessária a escolha de cada chapa para a execução do serviço, de modo a garantir uma maior homogeneidade da cor e desenho da capa.

Para a pintura do compensado é necessária a aplicação de massa niveladora.

#### **3.2.1.4 – Aplicações do compensado**

O compensado é utilizado para a fabricação de móveis, portas, revestimentos de parede, forros, formas para concreto, tapumes, etc.

Na segunda guerra mundial, barcos torpedeiros e aviões de pequeno porte chegaram a ser fabricados de compensado (Meyer, 1979).

### **3.2.2 – Aglomerado de madeira**

#### **3.2.2.1 – Definição do aglomerado**

A chapa de aglomerado é um material constituído por partículas de madeira unidas por uma resina sintética a base de formol, através de aplicação de pressão e calor. A aparência do aglomerado é demonstrada na figura 3.5.

Sua produção se iniciou na segunda guerra mundial (Meyer, 1979). Antigamente as partículas de madeira eram compostas de serragem obtida de sobras de corte de madeira, serragem proveniente de marcenarias, e madeira de sobra de construções triturada.

Com o aumento da demanda pelo aglomerado, além de resíduos de marcenarias, grande parte da madeira necessária é obtida de madeira de reflorestamento. O pinus é bastante utilizado na fabricação de aglomerado.

A resina normalmente utilizada é a resina uréia formaldeído. A massa de resina em média representa oito por cento da massa (base seca) do aglomerado.

Em situações onde não haverá exposição à umidade é forte concorrente do compensado por ter preço inferior.

Outro fator que contribui com a degradação do aglomerado é a presença de fungos.

Este problema pode ser minimizado com a adição de fungicidas à resina.

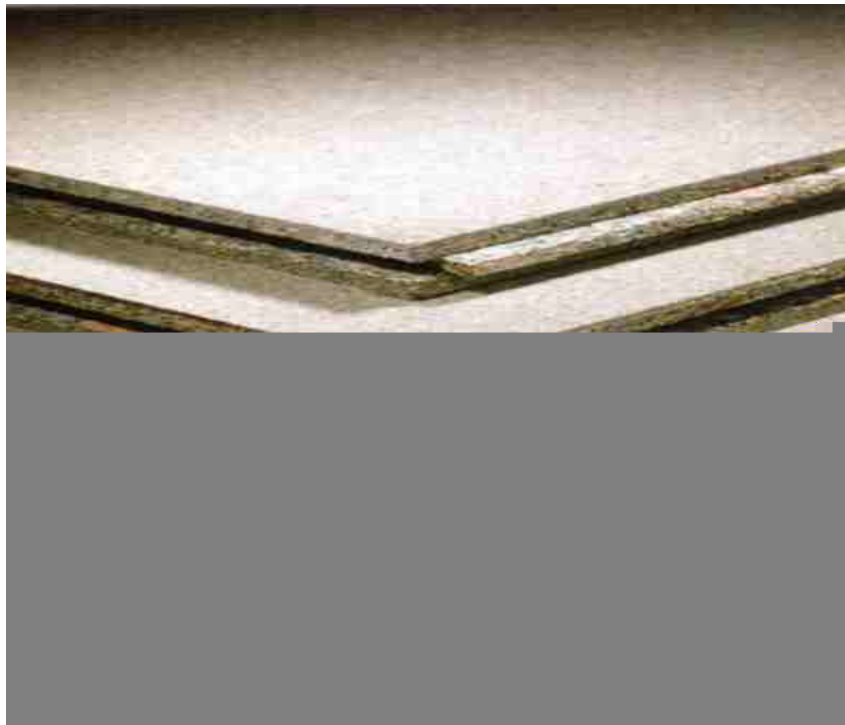


Figura 3.5 – Chapas de aglomerado (EPF, 2005).

### 3.2.2.2 – Produção do aglomerado

Para a produção do aglomerado se utiliza madeira pinus na forma de pequenas toras, costaneiras, cavaco, serragem e outros resíduos e desperdícios de madeira. Todo este material é triturado, ficando na forma de pequenas partículas de geometria variável. Estas partículas são submetidas por um processo de secagem. Após a secagem são classificadas por separação granulométrica. As partículas maiores farão parte do miolo do aglomerado. As partículas pequenas farão parte da camada externa, para que se forme uma capa de maior densidade em relação ao miolo, como objetivo de melhorar as propriedades mecânicas da chapa e a resistência à umidade (Meyer, 1979). Estas partículas são transportadas em grande velocidade através de uma tubulação de transporte pneumático (*blowline*). Nesta tubulação será adicionada resina, parafina e outros aditivos através de aspersão. Para a aplicação da resina e parafina também pode ser utilizado um misturador de sólidos, ilustrado na figura 3.6.

Em seguida as partículas são depositadas sobre uma esteira no caso da utilização de prensa contínua, ou sobre tabuleiros metálicos no caso da utilização de prensa de pratos, onde o processo é feito por batelada. Antes da prensagem a quente as partículas passam por uma

prensa fria para a formação do colchão de partículas retirado o ar existente entre elas. Na seqüência, o colchão de partículas vai para a prensa quente, onde através da aplicação de calor e pressão a resina se polimeriza, ligando as partículas de madeira. A temperatura de prensagem varia entre 150°C e 180°C (Meyer, 1979). O material obtido é cortado em placas, seguindo para o processo de resfriamento e estabilização. Na estabilização a resina acaba de polimerizar e a placa de aglomerado adquire temperatura e grau de umidade de equilíbrio com o ambiente. Após a estabilização as placas passam por um processo mecânico para garantir acabamento de superfície, e uma espessura de placa correta e uniforme. Neste processo, as placas passam por várias cabeças de lixamento de grão progressivamente mais fino. Após o lixamento, as chapas são cortadas nas dimensões finais (Tafisa, 1995).

As chapas, geralmente, são fabricadas nas dimensões de 2.750 x 1.830 mm ou 2.200 x 1.830 mm, com espessuras de 8 mm, 10 mm, 12 mm, 15 mm, 18 mm, 20 mm, 25 mm e 30mm. As chapas são vendidas com a superfície crua, ou poderão receber revestimento superficial em lâminas de madeira, película celulósica colorida ou imitando madeira, ou, ainda, revestimento em laminado melamínico de baixa pressão.



Figura 3.6 – Misturador de sólidos para aplicação de resina e parafina (Binos Technologies, 2005).

### 3.2.2.3 – Características do aglomerado

O tamanho da chapa não depende das dimensões dos troncos de árvores, como na madeira maciça. As partículas de madeira necessárias para a sua produção são provenientes de madeira de reflorestamento, colaborando para a preservação de matas nativas. No processo de fabricação, 95% da árvore é aproveitada, seja como matéria prima ou biomassa. Também podem ser utilizados resíduos de madeira da indústria moveleira e da construção civil como matéria prima.

É um material com boa estabilidade dimensional. Como exemplo, a Tafisa (1995) garante que, para uma variação de 1% de umidade no ambiente, ocorrerá, no máximo, uma variação dimensional de 0,3 mm por metro.

Como as fibras não estão direcionadas apenas para uma direção, possui resistência mecânica semelhante no sentido da largura e no sentido do comprimento.

O seu preço por metro cúbico é menor que o preço da madeira maciça, do compensado, e do MDF.

Possui baixa resistência à água. O contato com umidade poderá causar alterações das dimensões por inchamento, redução do desempenho mecânico, e degradação. Juntando a umidade com o aumento de temperatura, este problema se acentua. Para aumentar a resistência do aglomerado à umidade, durante sua produção parte da uréia da resina pode ser substituída por melamina, para a aglutinação das partículas de madeira.

Para sua colagem é possível a utilização de todos adesivos compatíveis com madeira



Figura 3.7 – Parafusos tipo *chipboard* (CHAEN WEI CORPORATION, 2006)

#### 3.2.2.4 – Aplicações do aglomerado

Normalmente é utilizado na construção de móveis, tais como armários embutidos, armários de cozinha e, principalmente, mobiliário para escritório. Também é utilizado para fabricação de embalagens.

#### 3.2.3 – OSB – *Oriented Strand Board*

##### 3.2.3.1 – Definição do OSB

É uma chapa composta por partículas tipo strand, longas, largas e finas, com direção orientada na formação do colchão, unidas por resina à prova de umidade e parafina, através de pressão e calor.

A resina utilizada é o fenol formaldeído. A quantidade de resina utilizada varia entre 3% a 6% em massa. Também pode ser utilizada a resina a base de isocianato (Bortoletto Jr. 2004). Sua utilização ainda é pequena devido ao custo, porém existe uma tendência de aumento. Alguns fabricantes na Europa utilizam resina melamina uréia formaldeído no miolo

da chapa e resina a base de isocianato na parte externa.

As partículas na camada exterior são orientadas paralelamente à formação do painel, enquanto as partículas internas são orientadas perpendicularmente, como se apresenta na figura 3.8. As partículas são obtidas de madeiras provenientes de troncos tortuosos, e de árvores de baixo valor comercial, contribuindo na redução do custo da chapa, compensando também o maior custo da resina fenólica em relação à uréia formaldeído utilizada em outros tipos de chapa (Bortoletto Jr. 2004).



Figura 3.8 – Orientação de partículas nas chapas de OSB (Masisa, 2003).

Este tipo de chapa possui alta taxa de compactação. A taxa de compactação é dada pela relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira que ela é constituída. Quanto mais compacta maior será esta relação. A alta taxa de compactação é possível em função da utilização de madeiras moles, de baixa densidade, para a fabricação do OSB. A alta razão de compactação resulta em maior área de contato entre as partículas, resultando em melhores propriedades de flexão estática e ligação interna (Mendes, 2000). A densidade de uma chapa de OSB varia entre  $600 \text{ kg/m}^3$  a  $680 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.3.2 – Produção do OSB

A produção do OSB está concentrada principalmente nos Estados Unidos e Canadá, representando uma porcentagem de 95% da produção mundial. Os Estados Unidos consomem

80% do MDF produzido mundialmente (Bortoletto Jr. 2004).

Sua fabricação se inicia com a retirada da casca dos troncos. A figura 3.9 apresenta o estoque de troncos para a produção de OSB da empresa Roy O. Martin, localizada em Lemoyen - Louisiana. As cascas poderão ser utilizadas para geração de energia e vapor. Em seguida os troncos são picados formando as partículas de madeira. Estas partículas são secas, para em seguida receberem aplicação de resina adesiva e parafina. Após a aplicação do adesivo se forma um colchão contínuo de fibras, onde as partículas externas ficam orientadas paralelamente ao sentido da formação do colchão, e as partículas internas perpendicularmente ao sentido de formação do colchão. O colchão de fibras segue para a prensagem em uma prensa contínua, como se apresenta nas figuras 3.10 e 3.11. Na saída da prensa o material prensado é cortado formando-se as chapas. Estas chapas são resfriadas, estabilizadas, e cortadas no tamanho final.



Figura 3.9 – Estoque de troncos para a produção de OSB (PLT, 2001).

As chapas formadas são cortadas nas dimensões 2.440 x 1.200 mm e 2.500 x 1.250 mm. São produzidas chapas com espessuras de 6 mm a 40 mm.

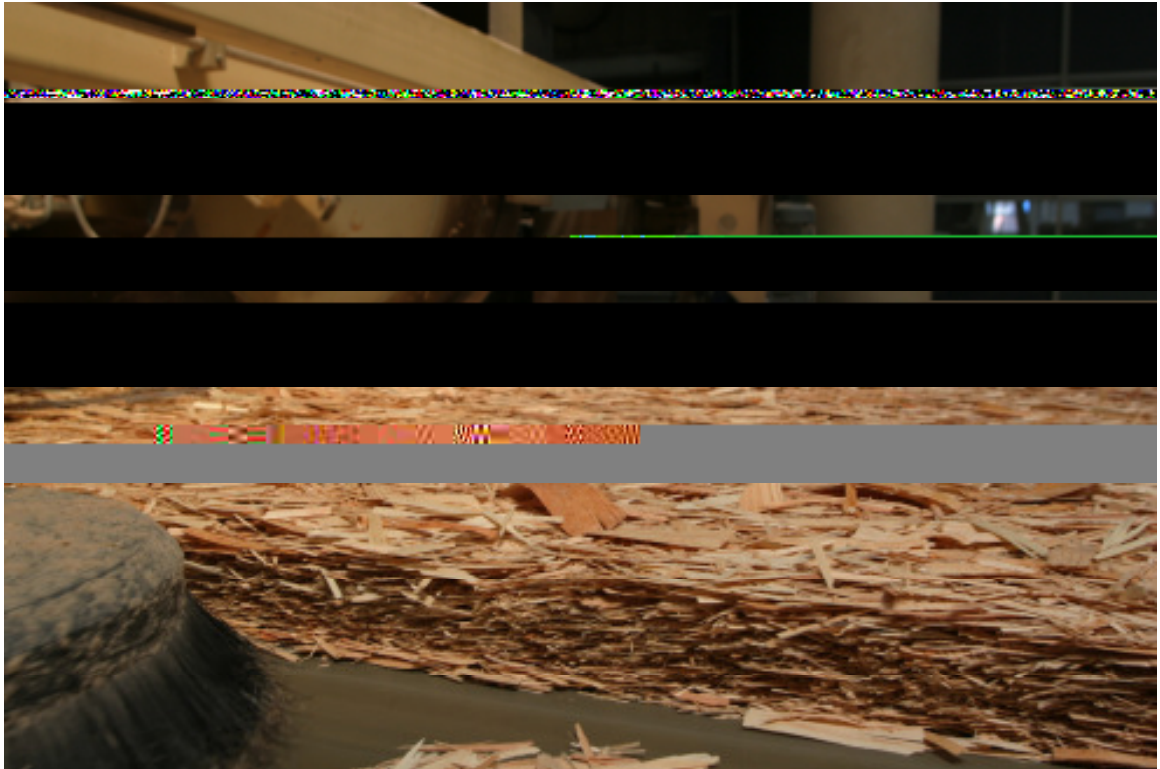


Figura 3.10 – Detalhe do colchão de partículas, que seguirá para prensagem. (Kabel, 2005)



Figura 3.11 – Entrada do colchão de partículas na prensa (PLT, 2001).



### 3.2.3.4 – Características do OSB

O tamanho da chapa do OSB não depende das dimensões dos troncos de árvores, como na madeira maciça. As partículas de madeira necessárias para a sua produção são provenientes de madeira de reflorestamento, colaborando para a preservação de matas nativas. No processo de fabricação, 95% da árvore é aproveitada, seja como matéria prima ou biomassa.

O OSB é um material com boa resistência físico mecânica. Possui fibras cruzadas, permitindo uma resistência mecânica semelhante no sentido da largura e no sentido do comprimento. Possui boa estabilidade dimensional e propriedades termo acústicas. Sua superfície é resistente a impactos. É um material resistente ao ataque de cupins. A Masisa (2003) dá uma garantia de 10 anos contra ataques de cupins para o seu OSB. O OSB permite a execução de usinagens de topo e superfície. São características que promoveram o OSB a um dos principais materiais utilizados para a fabricação de casas de madeira nos Estados Unidos, Canadá e Europa.

O OSB possui ótima resistência ao arranque de parafusos, permitindo a utilização de parafusos comuns. Para sua colagem é possível a utilização de todos adesivos compatíveis com madeira maciça, tais como uréia formaldeído, PVA – polivinil acetato, cola de contato, resinas fenólicas, etc.

O OSB não apresenta defeitos característicos da madeira natural, tais como nós, fibras reversas, furos causados por insetos, e rachaduras.

A principal desvantagem do OSB é a sua aparência.

Apesar de possuir espessura calibrada sua superfície não é lisa, necessitando a utilização de massa niveladora para a sua pintura.

### 3.2.3.4 – Aplicações do OSB

Devido à sua resistência mecânica e resistência à umidade, o OSB é muito utilizado na construção civil. Um exemplo da aplicação em construção civil é a casa apresentada na figura 3.12. Ele é utilizado para a construção de tapumes, aplicações estruturais, pavimentos, forros de telhados e paredes.

O OSB também é muito utilizado em embalagens industriais e na fabricação de embalagens e *pallets*.



Figura 3.12 – Casa construída com chapas de OSB (CWC, 2005).

### **3.2.4 – MDF – *Medium Density Fibreboard***

#### **3.2.4.1 – Definição do MDF**

A sigla MDF significa “*medium density fibreboard*”, ou seja, chapa de fibra de média densidade. É um produto em forma de chapa, com densidade média entre 350 e 800 kg/m<sup>3</sup>, composto de fibras lignocelulósicas unidas por resina sintética, através de calor e pressão. Sua principal vantagem é a usinabilidade das bordas e faces, podendo também ser entalhado ou torneado. Na figura 3.13 se apresenta amostras de chapas de MDF de várias espessuras, bem como amostras de usinagem em baixo relevo, trabalho, o qual é muito utilizado na fabricação de portas de armários.

Por ser fabricado com fibras de madeira provenientes de árvores de reflorestamento, enquanto a madeira maciça é proveniente da exploração de matas nativas, é um produto fabricado com matéria prima renovável, se tornado um grande substituto à madeira maciça. Outras vantagens que o MDF tem sobre a madeira maciça são: estabilidade dimensional;

homogeneidade; sua utilização gera menos resíduos em relação à madeira maciça por dispensar desempenamento e acerto de espessura; sua superfície é lisa, resultando em economia de adesivos, tintas e vernizes; inexistência de defeitos próprios da madeira como, por exemplo, nós, furos de insetos, fibras reversas e rachaduras; e suas dimensões não são limitadas ao tamanho da tora da árvore.



Figura 3.13 – Chapas de MDF (Kronopol, 2006).

#### 3.2.4.2 – Produção do MDF

A capacidade nominal brasileira para fabricação de chapas de MDF, em 2004, era de 1.720.000 metros cúbicos (ABIPA).

No Brasil o pinus *radiata* é muito utilizado para a fabricação do MDF. O MDF fabricado com a fibra desta madeira proporciona uma coloração de chapa mais clara, mais valorizada no mercado (Valença). Inicialmente, as toras são cortadas com comprimento variando entre dois metros e dois metros e meio. A tora tem sua casca removida, e, em seguida, é transformada em cavacos através de um picador. Os cavacos são desfibrados através de um processo mecânico. Neste processo os cavacos são comprimidos entre dois discos de metal com superfície ranhurada, que giram em sentidos opostos. Este equipamento

chama-se desfibrador. O atrito gerado irá causar o desfibramento. As fibras são transportadas em grande velocidade através de uma tubulação de transporte pneumático (*blowline*). Nesta tubulação será adicionada resina e parafina às fibras através de aspersão. A resina, normalmente utilizada, é a resina uréia formol. Para aumentar a resistência à umidade poderá ser adicionada resina melamina formol. As fibras com resina passam pelo processo de secagem, e depositadas em silos, onde se formam os colchões de fibras. O colchão de fibras é, primeiramente, prensado a frio para a retirada do ar entre as fibras. Na seqüência o colchão é prensado a uma temperatura próxima de 180°C a 220°C, até a espessura desejada. Ao sair da prensa o MDF é cortado formando-se as chapas. As chapas são resfriadas, e estocadas para que ocorra sua estabilização. Na estabilização as chapas adquirirão umidade compatível com o meio ambiente e ocorre a cura final da resina. Em seguida são lixadas, cortadas no tamanho final, empacotadas em forma de fardos, e enviadas para as revendas.

Os painéis são produzidos nas espessuras de 3 mm, 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm, 18 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, e 32 mm, medindo 1.830 mm de largura e altura de 2.750 mm ou 2.440 mm. As chapas são vendidas com a superfície crua, ou poderão receber revestimento superficial em película celulósica colorida, ou imitando madeira, ou, ainda, revestimento em laminado melamínico de baixa pressão.

### **3.2.4.3 – Características do MDF**

A principal vantagem do MDF é a capacidade de ser usinado nas faces e bordas, possibilitando a execução de molduras, rebaixos, encaixes, entalhes e torneamento.

Por possuir superfície lisa é um ótimo material para receber acabamento, não necessitando a utilização de massa niveladora. Esta característica promove economia na aplicação de adesivos, tintas e vernizes.

O MDF possui resistência mecânica semelhante na largura e no comprimento. Possui resistência à tração homogênea em todos os sentidos do plano. Isto ocorre, pois as fibras não ficam orientadas para uma única direção. A madeira maciça por ter fibras orientadas praticamente para uma única direção possui resistência à tração muito maior no sentido das fibras do que no sentido transversal.

O tamanho da chapa não depende das dimensões dos troncos de árvores, como na madeira maciça. As fibras de madeira necessárias para a produção do MDF são provenientes de madeira de reflorestamento, colaborando para a preservação de matas nativas. No processo de fabricação, 95% da árvore é aproveitada, seja como matéria prima ou biomassa. É possível

a utilização de resíduos de madeira da indústria moveleira, e da construção civil para a produção de suas fibras.

Para a colagem de peças de MDF podem ser utilizados todos adesivos compatíveis com madeira maciça, tais como uréia formaldeído, PVA – polivinil acetato, cola de contato, resinas fenólicas, etc.

O processo de fabricação de peças feitas com MDF gera menos resíduo do que o processo de peças feitas de madeira maciça, por dispensar desempenamento e ajuste de espessura, resultando em um aproveitamento superior. Enquanto resíduos gerados de MDF são na ordem de 20% do volume processado, a quantidade de resíduos de madeira maciça é da ordem de 50% do volume processado, chegando em casos extremos a 80%.

Peças feitas de madeira maciça estão sujeitas à ocorrência de empenamentos, e modificações dimensionais devido à estabilização de umidade, enquanto o MDF já está estabilizado. O MDF possui maior estabilidade dimensional em relação aos painéis aglomerados.

O MDF não apresenta defeitos característicos da madeira natural, tais como nós, fibras reversas, furos causados por insetos, e rachaduras.

Como desvantagem o MDF não possui aparência de madeira natural. Algumas pessoas chegam a classificar sua aparência como papelão. É um material não resistente à água. Em ambientes úmidos tem tendência de estufar. A resistência à umidade pode ser aumentada com a troca da resina uréia formaldeído por resina fenol formaldeído, porém com conseqüente aumento do custo.

No MDF não se recomenda a utilização de pregos e pinos para fixação no topo. Para a fixação, assim como no aglomerado, é recomendada a utilização parafusos tipo *chipboard*.

Também não se recomenda a utilização de dobradiças de fixação no topo, como por exemplo, dobradiças tipo piano e dobradiças tipo folha. Recomenda-se a utilização de dobradiças tipo copo.

Os topos da chapa de MDF se danificam com facilidade no caso de choque mecânicos.

#### **3.2.4.4 – Aplicações do MDF**

O MDF é utilizado para fabricação de móveis, molduras, rodapés, batentes, portas, almofadas para portas, divisórias, revestimentos de pisos e paredes, embalagens industriais, brinquedos, artesanatos, bases para espelhos, etc. Nas figuras 3.14 e 3.15 se apresentam vários exemplos de aplicação de MDF.



Figura 3.14 – Aplicação de MDF em revestimento de paredes e fabricação de portas (Foto cedida pela marcenaria Arteira).



Figura 3.15 – Aplicação do MDF em mobiliário e revestimento de paredes (EPF,2005).

### **3.2.5 – Compósitos madeira plástico.**

Vários estudos estão sendo realizados no desenvolvimento de compósitos de resíduos de madeira e plásticos com aglutinante.

O plástico utilizado pode ser o polietileno, que triturado juntamente com resíduos de madeira é colocado em uma prensa quente. Este processo também pode ser feito por extrusão. Com o calor, o polietileno amolece e funde, envolvendo a madeira.

Este tipo de compósito tem como vantagem a resistência à umidade pelo grande teor de plástico na sua composição. Pode-se também obter chapas ou perfis de diferentes cores, bastando adicionar pigmentos na mistura dos materiais antes da prensagem.

### **3.3 – Comparação entre compósitos de madeira e madeira maciça.**

A madeira maciça vem perdendo rapidamente seus consumidores, que cada vez mais migram para o mercado de compósitos de madeira. A utilização destes traz várias vantagens sobre a madeira maciça na fabricação de itens de marcenaria tais como mobiliários, portas, guarnições, molduras, revestimentos de parede, e rodapés.

Para exemplificar, abaixo se descreve a produção de um rodapé, medindo 200 mm x 20 mm, com preparação para pintura, com moldura superior tipo meia cana, utilizando-se madeira maciça como matéria prima, e depois o MDF como matéria prima.

O primeiro passo na fabricação do rodapé com madeira maciça é o corte das pontas da prancha através de uma destopadeira. Este corte é necessário para a eliminação das rachaduras existentes nas pontas das pranchas. Este corte em média é de 150 mm em cada uma das pontas. O próximo passo é a passagem da madeira na plaina desempenadeira. Passa-se o topo de uma das laterais para que ele fique reto, eliminando assim o encurvamento da prancha. Em seguida passa-se uma das superfícies da prancha na plaina desempenadeira para se eliminar eventuais arqueamentos e encanoamentos. Na próxima operação, a prancha de madeira tem sua espessura reduzida para a espessura desejada através da desengrossadeira. Nesta operação a prancha é desengrossada nas duas faces para a eliminação de rachaduras superficiais da madeira. Durante o desengrosso poderão aparecer nós, trincas, tumores, resultando no descarte de parte, ou de toda prancha. Depois de atingida a espessura necessária, a prancha é cortada na serra circular na largura desejada. Até este ponto, terminada a preparação para a usinagem, por volta de 50% a 60% em volume da prancha virou resíduo de madeira. Devido à

largura ser de 200 mm existe a possibilidade de ocorrer encanoamento do rodapé. Para reduzir a incidência deste problema, são feitos 2 a 3 cortes de alívio de tensões com profundidade de 5mm no sentido do comprimento do rodapé. Em seguida é feita a usinagem na tupia, onde é feito o perfil desejado através de uma fresa, no caso meia cana. Neste ponto do processo produtivo a madeira já tem a aparência do rodapé. Para reduzir a interferência de defeitos entre o piso e a parede, através de uma fresa de 45°, realiza-se um desbaste na parte traseira inferior do rodapé. Agora o rodapé vai para a lixadeira de cinta, onde será lixado com lixas de grana 60, 80, 100 e 120 dependendo da madeira. Após o lixamento é aplicada massa niveladora. Quando a massa niveladora secar, o rodapé é lixado com lixa grana 280. Repete-se a aplicação de massa até o total nivelamento da superfície. Aplicam-se duas camadas de fundo tipo primer com lixamento intermediário com lixa grana 320.

Com a utilização do MDF, o processo produtivo se inicia com o corte das placas de MDF, obtendo-se régua com largura de 200 mm. A placa de MDF já está na espessura de 20 mm, não necessitando de operações de correção da mesma. Até este ponto, terminada a preparação para a usinagem, 12,5% em volume do MDF se transforma em resíduo. Não é necessária a execução de cortes de alívio. Como o MDF possui orientação de fibras cruzadas, as tensões se encontram equilibradas. O próximo passo é a usinagem na tupia, executando-se a meia cana e o desbaste traseiro inferior. Como o MDF já possui superfície lisa, não é necessário o lixamento na lixadeira de cinta com lixas de grana 60, 100 e 120, bem como a aplicação de massa niveladora. Aplicam-se duas camadas de fundo tipo primer com lixamento intermediário com lixa grana 320.

Concluindo, percebe-se a grande vantagem do MDF sobre a madeira maciça para a execução deste serviço. A utilização do MDF exige menor quantidade de maquinário, maquinário menos robusto, menor quantidade de operações, menor qualificação da mão de obra, gera menos de resíduos, além de ser uma matéria prima mais barata que a madeira maciça. Enquanto a execução do rodapé com madeira maciça foram necessárias 13 operações, 6 máquinas, com geração de aproximadamente 60% de resíduos do volume de madeira inicial na preparação para a usinagem, na execução com MDF foram necessárias 5 operações, 2 máquinas, com geração de aproximadamente 12,5% de resíduos do volume de MDF inicial na preparação para a usinagem. Estes fatores ajudam a explicar a grande redução das vendas de madeira maciça, através da substituição pelo MDF. A utilização de madeira maciça para a fabricação deste rodapé só se justifica caso o mesmo seja destinado para instalação em locais externos, que poderão ficar expostos à umidade.

Abaixo é apresentada a tabela 3.1, onde se compara as características da madeira



maciça e dos compósitos de madeira encontrados no mercado.

Tabela 3.1 – Comparação entre madeira maciça e compósitos de madeira.

<b>Evento</b>	<b>Pranchas de Madeira Maciça</b>	<b>Compensado laminado de Virola</b>	<b>Aglomerado</b>	<b>MDF <i>Standart</i></b>	<b>OSB</b>
<b>Custo por metro cúbico</b>	De R\$ 1.500,00 a R\$ 3500,00 em 17/10/2006 (Diskmad, 2006 )	R\$ 1.370,00 em 17/10/2006 (Leo Madeiras)	R\$ 930,00 em 17/10/2006 (Leo Madeiras, 2006)	R\$ 1.300,00 em 17/10/2006 (Leo Madeiras, 2006)	R\$ 1.010,00 em 17/10/2006 (Leo Madeiras, 2006)
<b>Necessidade de secagem</b>	Sim	Não	Não	Não	Não
<b>Rendimento da madeira na sua produção desde o abate da árvore</b>	35% (Bonduelle, 2002)	36% (Bonduelle, 2002)	95%	95%	95%
<b>Perdas no beneficiamento</b>	50% a 70% (Arteira, 2006)	10% a 30% (Arteira, 2006)	10% a 30% (Arteira, 2006)	10% a 30% (Arteira, 2006)	10% a 30% (Arteira, 2006)
<b>Nós</b>	Sim	Sim	Não	Não	Não
<b>Rachaduras</b>	Sim	Não	Não	Não	Não
<b>Tendência para empenamentos</b>	Sim	Sim	Não	Não	Não
<b>Estabilidade dimensional</b>	Pouca	Boa	Boa	Boa	Boa
<b>Fibras Reversas</b>	Sim	Não	Não	Não	Não
<b>Orientação das fibras</b>	Fibras orientadas para uma direção	Fibras cruzadas	Fibras cruzadas	Fibras cruzadas	Fibras cruzadas
<b>Possibilidade de empenamentos no corte</b>	Sim	Não	Não	Não	Não
<b>Resistência à umidade</b>	Sim	Não	Não	Não	Sim

Continua

<b>Evento</b>	<b>Pranchas de Madeira Maciça</b>	<b>Compensado laminado de Virola</b>	<b>Aglomerado</b>	<b>MDF <i>Standart</i></b>	<b>OSB</b>
<b>Matéria Prima</b>	Árvores Nativas	Árvores Nativas e Madeira de Reflorestamento	Madeira de Reflorestamento e Resíduos de Madeira	Madeira de Reflorestamento e Resíduos de Madeira	Madeira de Reflorestamento
<b>Problemas de delaminação</b>	Não	Sim	Não	Não	Não
<b>Usinabilidade</b>	Sim	Não	Não	Sim	Sim
<b>Aplicação de massa niveladora para pintura</b>	Sim	Sim	Sim	Somente nos topos	Sim
<b>Aparência de Madeira</b>	Sim	Sim	Não. Necessita revestimento com folha de madeira	Não. Necessita revestimento com folha de madeira	Não
<b>Resistência ao arranque de parafusos</b>	Boa	Boa	Necessita a utilização de parafusos tipo <i>chipboard</i>	Necessita a utilização de parafusos tipo <i>chipboard</i>	Boa
<b>Disponibilidade durante o ano inteiro</b>	Não	Não	Sim	Sim	Sim

## **4.0 - RESINA URÉIA FORMALDEÍDO**

### **4.1 - Definição**

A resina uréia formaldeído é uma amino resina, que, quando curada, é insolúvel, e não pode ser fundida. Ela é formada pela reação de polimerização por condensação entre os grupos de amina da uréia ( $\text{NH}_2$ ) e carbonila (CO) do formaldeído, formando água como subproduto (Smith, 1998).

É muito popular devido ao seu baixo custo, grande qualidade e versatilidade (Meyer, 1979). A resina uréia formaldeído representa uma parcela de 80% das amino resinas produzidas em todo mundo (Conner, 1996).

Apresenta elevada reatividade dos pré-polímeros de baixo peso molecular, resulta em um produto termofixo com muitas ligações cruzadas. Quanto maior a quantidade de ligações cruzadas, menor a flexibilidade (Brydson, 1987). Isto explica a rigidez da resina uréia formaldeído.

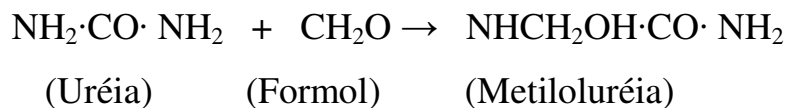
A formação destas ligações moleculares é estimulada por altas temperaturas de cura, logo quanto mais calor for aplicado à resina, maior será a quantidade de ligações moleculares. A rigidez da resina não se perde com o resfriamento (Shackelford, 1998). A estrutura molecular com ligações cruzadas confere um elevado peso molecular ao polímero curado, que resulta em um alto ponto de fusão. Deste modo, o produto resultante é termofixo. Esta característica traz uma desvantagem, que é a impossibilidade de reutilizar a resina após a sua cura. Desperdícios formados durante o processo não podem ser reutilizados ou reciclados (Smith, 1998).

Como vantagem possui elevada estabilidade térmica, rigidez e estabilidade dimensional. Apresenta, ainda, resistência à fluência e deformação sob carga, baixo peso, e boas propriedades de isolamento térmico e elétrico (Smith, 1998).

### **4.2 – Formação da resina**

A resina uréia formaldeído é preparada em dois estágios. No primeiro estágio ocorre a reação da uréia com o formaldeído em meio alcalino, com a formação de metiloluréias e dimetiloluréias (Brydson, 1987), conforme figura 4.1. O pH nestas reações é de aproximadamente 8 a 9.

Formação de metiloluréia



ou formação de dimetiloluréia

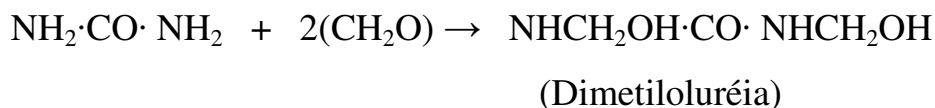


Figura 4.1 – Formação da metiloluréia e da dimetiloluréia

Neste primeiro estágio ainda não ocorre a condensação das metiloluréias (Conner, 1996), bem como parte da uréia e do formaldeído ainda não reagiu (Brydson, 1987). Esta mistura é resfriada e neutralizada, ocorrendo uma interrupção das reações. Através de destilação à vácuo, a água presente na mistura é retirada deixando a resina com o teor de sólidos desejado. Em média este teor varia entre 60% e 65% (Conner, 1996). Neste ponto a resina é embalada e vendida para a indústria madeireira como adesivo, podendo permanecer estocada por um período de até 6 a 12 meses.

Na indústria madeireira, quando a resina for utilizada, inicia-se o segundo estágio da reação. É adicionada água à resina e um catalisador. Este catalisador tem a função de deixar o meio ácido, iniciando a segunda etapa da reação, já que a mesma ocorre em um meio de pH menor do que 5 (Conner, 1996). Como catalisador podem ser utilizados, por exemplo, cloreto de amônio, sulfato de amônio, ácido fórmico, ácido bórico, ácido fosfórico, ácido oxálico, e sais ácidos.

Com o reinício da reação, o grupo  $-\text{CH}_2\text{OH}$  de uma molécula de metiloluréia reage com o grupo  $-\text{NH}_2$  de outra molécula de metiloluréia, liberando água, e formando moléculas poliméricas lineares, conforme a figura 4.2.



Figura 4.2 – Molécula polimérica linear.

Em seguida, estas moléculas poliméricas lineares reagem com moléculas de formaldeído livres na mistura, e com outras moléculas poliméricas lineares, liberando água, e se ligando de forma cruzada, conforme figura 4.3.

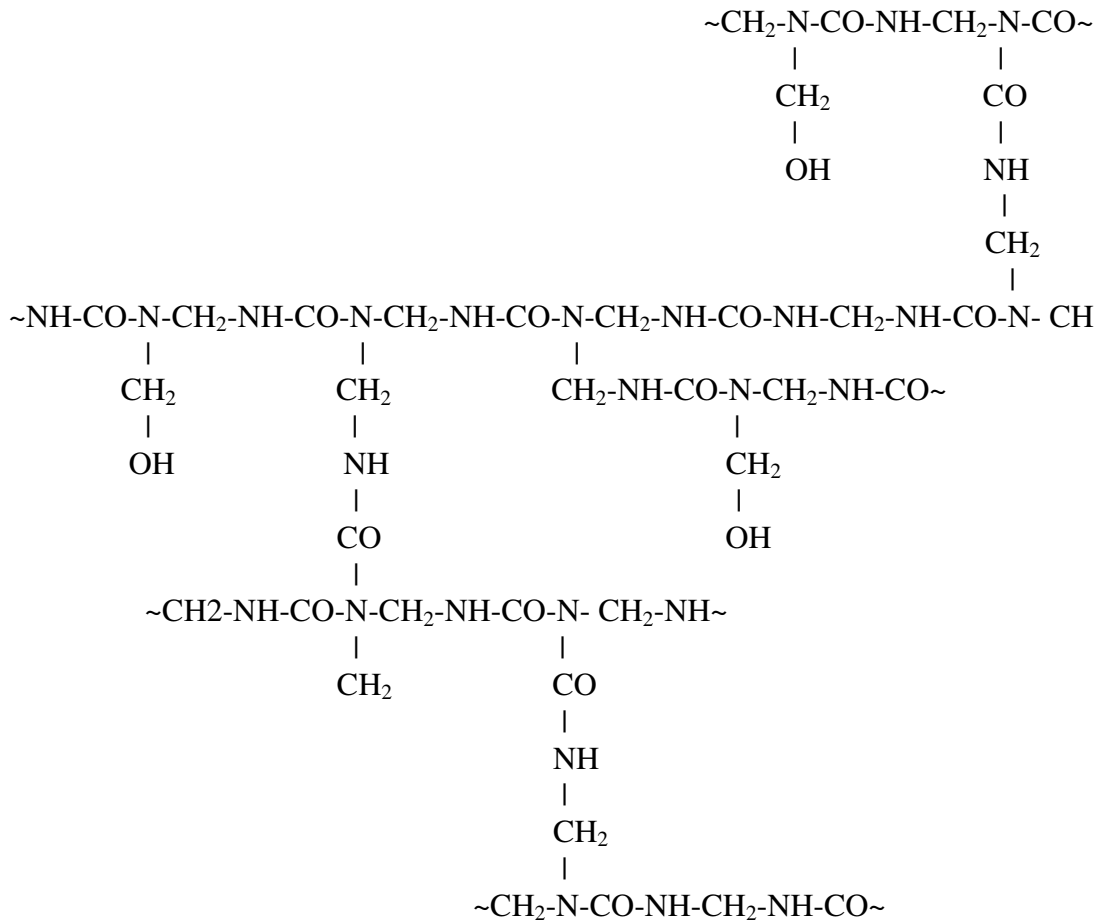


Figura 4.3 – Ligações cruzadas da resina uréia formaldeído.

### 4.3 - Participação na indústria da madeira

A resina uréia formaldeído é uma das principais resinas fabricadas comercialmente. Nos Estados Unidos, em 1979, 75% da resina uréia formaldeído fabricada era utilizada na indústria madeireira (Meyer, 1979). No Continente Norte Americano, em 1998, por volta de 59,5% dos adesivos consumidos na indústria da madeira era do tipo amino resina, principalmente uréia formaldeído e melamina formaldeído (Sellers, 2000).

Dentro da indústria madeireira, 61% do volume de resina consumida é utilizada na fabricação de aglomerados, 27% na fabricação de MDF, 5% na fabricação de compensados e 7% na colagem de lâminas de madeira (Conner, 1996).

Em 1998, 104 fábricas no Continente Norte Americano fabricaram por volta de 10,952 milhões de metros cúbicos de aglomerado, e por volta de 3,414 milhões de metros cúbicos de MDF, utilizando resina uréia formaldeído (Sellers, 2000). Todos estes números apresentados

demonstram a grande importância desta resina na indústria da madeira.

As principais vantagens da resina para a sua utilização na indústria madeireira são: baixo preço, facilidade de manuseio, baixa temperatura de cura, solubilidade em água, resistência a microorganismos, proporciona dureza ao material colado, e propriedades térmicas excelentes (Conner, 1996).

Outra vantagem interessante é o aumento da estabilidade dimensional de chapas de madeira fabricadas com esta resina. Esta estabilidade é decorrente das ligações cruzadas resultantes da reação da madeira com o formaldeído. Esta reação resulta na formação de pontes de metileno, entre grupos de hidroxil adjacentes (Desh, 1996).

A principal desvantagem da resina uréia formaldeído é a sua suscetibilidade à hidrólise. A exposição contínua à umidade de compósitos de madeira construídos com esta resina poderá causar perda de resistência mecânica, bolhas e delaminação no caso de compensados, inchamento e/ou deformação no caso de MDF e aglomerados. O aglomerado impregnado com umidade a teores superiores a 26% em massa, por períodos prolongados, poderá resultar em desagregação da chapa (Tafisa, 1995).

## **5.0 - RESÍDUOS DE MADEIRA**

### **5.1 - Geração de resíduos na indústria da madeira.**

Desde o corte de uma árvore, até o final do beneficiamento da sua madeira, para a execução de um produto, gera-se uma grande quantidade de resíduos.

No corte da árvore, o ápice dos troncos e os galhos não são aproveitados, sendo abandonados no local do abate. Nas serrarias, onde é feito o desdobro dos troncos, além da geração da serragem, são descartadas as costaneiras, as partes do tronco atacadas por fungos, que causam manchas e deterioração da madeira, e a medula de árvores velhas, pois esta possui rachaduras e muitas vezes já se encontra deteriorada. O rendimento do desdobro de um tronco de madeira nativa é de aproximadamente 35% (Bonduelle, 2002). O rendimento do desdobro de madeira variedade pinus para exportação é de 52,13% (Néri, 2005).

Na indústria de laminação, os troncos são transformados em lâminas de madeira que são utilizadas na fabricação de compensados, ou para revestimento decorativo. Na laminação apenas o cerne do tronco é aproveitado. O maior volume de resíduo gerado neste tipo de indústria é composto pela parte central do tronco. Nesta região existe grande incidência de rachaduras, assim a laminação é paralisada quando atinge a medula da tora de madeira. Em alguns casos a laminação é paralisada mesmo antes da chegada à medula. Isto ocorre quando a tora se torna suficientemente pequena, de modo que as garras da laminadora não conseguem mais segurá-la.

Estima-se que entre o corte da árvore e o desdobro dos troncos em tora, ou o processo de laminação, 50,71% do volume da tora de madeira é transformado em resíduo (Cassilha). Segundo Bonduelle (2002), dependendo do caso a quantidade de resíduo gerada é de 30% a 60%.

Na indústria moveleira, indústria de esquadrias e nas marcenarias se realiza o beneficiamento final da madeira. Nesta fase ocorre grande geração de resíduos, conforme apresentado no Capítulo 3 – Compósitos de Madeira. Durante a transformação das pranchas de madeira nas peças finais, por volta de cinquenta por cento do volume da madeira se transforma em pontas, sarrafos, pó e serragem. Isto ocorre, pois além da necessidade da redução da espessura da prancha para a espessura da peça final, do corte da peça nas medidas longitudinais e transversais finais, da execução de furos, molduras e canais, boa parte da madeira não é aproveitada, decorrente de defeitos naturais e defeitos decorrentes do beneficiamento da madeira.

No processo de fabricação com chapas de madeira reconstituída, tais como, compensado, aglomerado, MDF e OSB, a geração de resíduos encontra-se por volta de vinte por cento do volume trabalhado. A quantidade de resíduos é menor neste tipo de material, pois, normalmente, não há necessidade do ajuste da espessura da chapa, e pela inexistência dos defeitos naturais encontrados na madeira maciça.

Do resíduo gerado na indústria moveleira, de esquadrias e marcenarias, uma parte é decorrente de desperdícios nos processos produtivos. Estes desperdícios são causados pela baixa qualidade da mão de obra utilizada, e pela falta de manutenção do maquinário (Lima, 2005).

A falta de treinamento de funcionários, ou a contratação de mão de obra desqualificada aumenta o desperdício de pranchas de madeira e de chapas de madeira reconstituída. Por exemplo, quando o funcionário precisa tirar uma peça de madeira de 2 metros de comprimento, ele, por má vontade de procurar uma prancha de madeira com um comprimento aproximado, ou pela dificuldade de achar esta prancha em uma pilha desorganizada, tira a peça a partir de uma prancha de 3 metros de comprimento. Levando em conta que ele tire 15 cm de cada uma das pontas para eliminar as rachaduras de topo, o pedaço de prancha de 70 cm que sobra, dependendo do produto que a empresa fabrica, dificilmente será utilizado. Outro exemplo é quando um funcionário precisa tirar várias peças de MDF de uma lista de materiais. Se ele não souber calcular como deve ser o corte de modo a se obter um melhor aproveitamento de chapa, há um grande desperdício de material. Existem programas de computador, que calculam a melhor maneira de se cortar chapas de madeira, de modo a se obter um melhor aproveitamento de material. Este software é uma ótima ferramenta, porém, nem todas pequenas marcenarias possuem capital para adquiri-lo, ou nem possuem computadores para utilizá-lo.

A falta de manutenção de maquinário também causa desperdícios, como por exemplo : desengrossadeiras com dentes na faca, causando um desbaste desuniforme; esquadrejadeiras com mesa fora de esquadro não permitindo cortes de 90°; serras sem afiação, que causam danos na face de chapas durante o corte.

## **5.2 - Tipos de resíduos de madeira**

Os principais tipos de resíduos de madeira são :

**Costaneira** : é a camada externa do tronco composta pela casca do tronco, e pelo alburno,



madeira mais clara e mole. Normalmente é descartada no desdobro da madeira.

**Pontas :** são pedaços de madeira provenientes do corte das extremidades de pranchas de madeira. Nas extremidades das pranchas de madeira não é raro a existência de rachaduras longitudinais, obrigando a eliminação das pontas. Em serrarias especializadas em exportação de madeira, muitas vezes as pontas das pranchas são cortadas para que as mesmas caibam dentro dos *containers*.

**Cepilho ou Maravalha :** resíduo proveniente do beneficiamento da madeira com dimensões acima de 2,5mm. Resíduo gerado em processos de desengrosso, desempeno, e fresagem de madeira maciça. Um exemplo de cepilho gerado em desengrossadeira pode ser visto na figura 5.1. Na figura 5.2 é mostrada a utilização de uma tupia para fresagem de madeira, e na figura 5.3 o resíduo gerado.

**Serragem :** resíduo proveniente do beneficiamento da madeira com dimensões entre 0,5mm e 2,5mm. Este tipo de resíduo, normalmente, é gerado em processos de corte de madeiras maciças e de painéis derivados de madeira através de serras circulares e serras de fita. Dependendo do tipo de fresa, profundidade de corte, e tipo de madeira, processos de fresagem poderão gerar este tipo de resíduo. Na figura 5.4 é mostrada a serragem proveniente do corte da madeira variedade canela.

**Pó de madeira :** resíduo proveniente do beneficiamento da madeira com dimensões inferiores a 0,5mm. Este resíduo, normalmente, é formado em processos de lixamento, conforme figura 5.5. Processos de corte e fresagem de MDF produzem resíduos desta ordem de granulometria.

**Sobras ou aparas :** são pedaços de madeira provenientes de corte de pranchas e de madeira beneficiada, ou sobras de corte de chapas de madeira. Dependendo do tipo de produto que a empresa produz, dificilmente estes materiais serão reutilizados devido às suas dimensões. Uma destinação para este tipo de resíduo é o preenchimento do miolo de portas, tamboreamento, venda ou doação para olarias, empresas que possuam caldeiras, tendo madeira como combustível, ou empresas, que utilizem este material para a produção de brinquedos e peças de artesanato.



Figura 5.1 – Cepilho gerado no processo de desengrosso de madeira canela.



Figura 5.2 – Fresagem de madeira na tupia.



Figura 5.3 – Cepilho gerado a partir da fresagem de madeira na tupia.



Figura 5.4 – Serragem de madeira canela gerada no p



Figura 5.5 – Lixamento de peça de madeira, fonte de geração de pó.

### **5.3 - Destinação de resíduos de madeira**

Algumas indústrias de grande porte, normalmente localizadas na zona rural, utilizam os resíduos gerados pelos seus processos produtivos como biomassa. Estes resíduos de madeira são destinados para a geração de calor, vapor ou energia elétrica.

O alto preço de combustíveis derivados de petróleo, riscos no corte de fornecimento de gás natural e a provável crise no fornecimento de energia elétrica levaram as empresas do setor madeireiro e do setor de celulose adotar os resíduos de madeira como combustível

créditos de carbono.

Um exemplo é a empresa Klabin, que fará um investimento de R\$ 300 milhões, na sua fábrica de Telêmaco Borba – Paraná, em um projeto de geração de energia elétrica a partir da utilização de seus resíduos de madeira. Após sua implantação, no final de 2007, a usina movida à biomassa da fábrica passará a gerar 115MW de energia elétrica. Esta energia é suficiente para atender uma cidade de 300 mil habitantes. A fábrica deixará de comprar 20.000 toneladas óleo combustível BPF3A, utilizado atualmente para a geração de energia. Levando em conta o poder calorífico, custo do uso de biomassa para geração de energia será de R\$ 300 por tonelada, enquanto o custo do óleo combustível BPF3A é de R\$ 965. Por volta de 70% dos resíduos serão provenientes do processo produtivo da fábrica da Klabin. O restante será comprado de empresas vizinhas, criando um mercado de comercialização de resíduos (Staviski, 2006).

Nas indústrias de OSB, MDF e aglomerados, os resíduos podem em alguns casos ser reaproveitados. Nestas indústrias, as aparas decorrentes do corte final das chapas são desfibradas ou moídas, conforme o caso, retornando ao processo como matéria prima.

Na zona rural, os resíduos em forma de serragem podem ser utilizados para queima em fornos de olarias. Cepilho de madeira maciça também pode ser utilizado como forração de granjas e estábulos. Resíduos de MDF, aglomerados, OSB e compensados não podem ser utilizados para este fim por possuírem produtos químicos em sua composição.

A transformação dos resíduos de madeira em briquetes é outra destinação. Posteriormente, estes briquetes serão utilizados para combustão em olarias, lareiras, e indústrias para geração de energia. Para que isto seja possível, os resíduos utilizados na sua fabricação devem estar livres de produtos químicos. As vantagens do briquete em relação ao resíduo convencional é o maior controle da umidade permitindo uma combustão uniforme, facilidade de manuseio e transporte, e pela compactação maior geração de calor por metro cúbico de material queimado (Lima, 2005).

As opções para a destinação de resíduos citadas anteriormente não se aplicam para as empresas localizadas nas grandes metrópoles. Primeiro, porque nas grandes cidades não há demanda destes insumos agrícolas, nem a utilização dos resíduos como combustível é possível devido à rígida Legislação Ambiental dos centros metropolitanos. Segundo, a inexistência de empresas próximas que possuam geradores termoelétricos, ou caldeiras.

Uma forma de destinação dos resíduos é a contratação de uma empresa de coleta especializada e credenciada junto ao órgão ambiental do Estado para este fim. Este tipo de empresa deixa uma caçamba na marcenaria, a qual é substituída quando estiver cheia. As

desvantagens deste sistema de coleta é o espaço físico ocupado pela caçamba e o custo operacional, que é oneroso para as empresas.

Como alternativa, as pontas de pranchas e pedaços menores de madeira sem utilidade podem ser doadas, ou vendidas para marcenarias, que fabriquem pequenas peças de madeira. Alguns autores citam a possibilidade da doação de pontas de madeira para padarias e pizzarias que utilizem fornos à lenha, porém algumas madeiras, como no caso do cedro, durante a sua queima eliminam substâncias específicas, que impregnam a massa que está sendo assada, deixando-a com sabor desagradável.

A serragem, que representa a maior parcela em volume dos resíduos derivados da madeira, pode ser doada para a Cavalaria da Polícia Militar. A idéia da doação parece ser menos onerosa, porém a Cavalaria somente aceita serragem proveniente de madeira maciça não resinosa. Resíduos de chapas de madeira reconstituída não são aceitos por possuírem adesivos e aditivos químicos. A serragem também deve estar livre de impurezas tais como pregos, parafusos, latas, tocos e sarrafos de madeira, lixo, demandando mão de obra e tempo para a seleção. A quantidade mínima para a Cavalaria retirar deve ser o suficiente para encher um caminhão tipo baú, demandando grande espaço físico para o acúmulo desta quantidade.

#### **5.4 - Utilização de resíduos para a fabricação de chapas de madeira reconstituída**

Em 1997, a Inglaterra utilizou 2,7 milhões de toneladas de madeira para fabricação de aglomerados, sendo que 375 mil toneladas eram resíduos de madeira, representando por volta de 14% do total. Acredita-se que a porcentagem de resíduos de madeira para a produção de aglomerados pode chegar a 54% (Magin, 2001). Nos Estados Unidos, os resíduos de madeira são a principal fonte de matéria prima para a fabricação de aglomerados. A taxa de utilização de resíduos de madeira para a fabricação de aglomerados no Brasil é de 15% (Brito, 1995).

Os fabricantes ficam receosos de trabalhar com porcentagens muito altas de resíduos na fabricação de aglomerados, já que os resíduos possuem uma mistura grande de vários tipos de madeira, e podem estar contaminados com metais, tintas, vernizes, e outras substâncias químicas (Magin, 2001).

A utilização de resíduos de madeira para a fabricação de painéis tem como vantagens a destinação correta dos resíduos, a contribuição na preservação de florestas nativas, e a economia de energia pela falta de necessidade de se fazer a secagem dos resíduos, ao contrário da madeira de reflorestamento.

## 6.0 - MICROONDAS

### 6.1 - Definição

As microondas são radiações eletromagnéticas com espectro de frequência variando entre 300 MHz e 300 GHz. Radiação eletromagnética tem o mesmo significado que onda eletromagnética. A onda eletromagnética é um campo elétrico (E) conjugado com um campo magnético (H), conforme representado na figura 6.1.

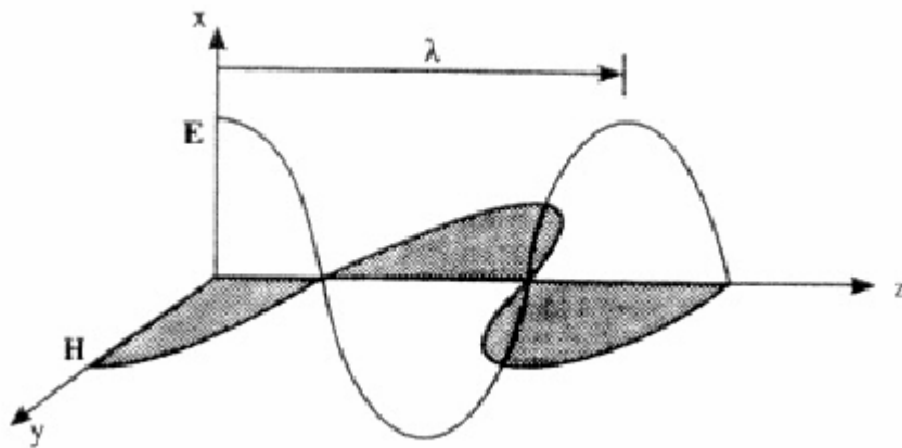


Figura 6.1 – Representação gráfica de um campo eletromagnético (Committee on Microwave Processing of Materials, 1994)

A onda eletromagnética é caracterizada pela frequência ( $f$ ), pelo comprimento de onda ( $\lambda$ ), e pela velocidade da onda ( $v$ ). A frequência é uma propriedade invariante, não se alterando por nenhum processo linear. A velocidade da onda muda em função do meio em que a onda está propagando. A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo é de aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s. O comprimento de onda é a relação entre a velocidade da onda e a frequência:  $\lambda = v/f$ .

A quantidade de energia ( $E$ ) contida em uma onda eletromagnética, medida em Joules (J), é definida por:  $E = hf$ , onde  $h$  é a constante de Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J/Hz), e  $f$  é a frequência (Hz). As radiações são classificadas em função do seu conteúdo energético entre radiações ionizantes e não ionizantes. As radiações classificadas como ionizantes, possuem frequências maiores do que as radiações que caracterizam a luz visível, mais especificamente, o ultravioleta curto, raios X e raios gama, possuem energia suficiente para ionizar material

biológico, com possíveis conseqüências graves às pessoas expostas. As microondas por possuírem frequências inferiores às radiações ionizantes, não trazem este tipo de perigo, sendo classificadas como radiações não ionizantes.

A utilização efetiva das microondas iniciou-se durante a segunda guerra mundial, em sistemas de radar. A grande necessidade do desenvolvimento de sistemas de radar durante a guerra contribuiu para o acúmulo de muitos conhecimentos sobre microondas.

A sua utilidade para o aquecimento de materiais foi descoberta em 1946. Engenheiros que trabalhavam com transmissores de ondas curtas tinham febres durante os experimentos. Percebeu-se que as febres eram causadas pela exposição às microondas. Existe outra versão desta descoberta, onde uma barra de chocolate, que se encontrava no bolso do engenheiro, derreteu assim que ele ativou o gerador de ondas curtas.

## **6.2 – Aplicações das microondas**

A aplicação de maior porte da tecnologia de microondas é na área de telecomunicações. Através das microondas é possível transmitir, através de satélites, informação, som e imagens para qualquer parte do mundo.

A aplicação mais corriqueira é o forno doméstico de microondas. Devido à grande capacidade da água absorver a energia transmitida por estas ondas, esta tecnologia tem sido amplamente utilizada, desde as duas últimas décadas, em aparelhos domésticos para cozinhar ou aquecer comida. Em 1995, estimava-se a existência de duzentos milhões de fornos de microondas em todo o mundo (Yamanaka, 1995).

Na indústria, a tecnologia de microondas é utilizada no processamento de alimentos (descongelamento de carnes, cozimento, eliminação de fungos de sementes, aceleração do amadurecimento de frutas, pasteurização, parbolização de arroz, desidratação, etc), cura de polímeros, tais como vulcanização de borrachas, fabricação de plásticos, cura de resinas e adesivos, secagem de tecidos, secagem de madeira, sinterização de cerâmicas e vitrocerâmicas, fabricação de semicondutores, na indústria mineradora é utilizada na extração de metais a partir de minério, etc.

Na área de processamento de lixo e resíduos, a tecnologia de microondas é utilizada no tratamento de gases e substâncias químicas tóxicas, e na recuperação de metais como ouro, prata e cobre presentes em placas de circuitos eletrônicos.

Na medicina, a tecnologia de microondas está sendo utilizada na área de cirurgias de invasão mínima. As microondas estão sendo utilizadas para matar células cancerosas em



mamas e próstata, e no tratamento de arritmia cardíaca.

Para que não ocorram interferências nas frequências de microondas utilizadas para a transmissão e recepção de informações, e na área de comunicações, algumas frequências são reservadas para outros propósitos como, por exemplo, aquecimento. As frequências reservadas para propósitos industriais, científicos e médicos (ISM) são apresentadas na tabela 6.1. As frequências mais utilizadas para propósitos que não sejam para comunicação, são 915 MHz e 2,45 GHz. A frequência de 2,45 GHz é utilizada para todo tipo de aplicação, inclusive em fornos domésticos. A frequência de 915 MHz é somente utilizada industrialmente (Chan, 2000).

Tabela 6.1 – Frequências reservadas para propósitos ISM (Chan, 2000).

<b>Frequência Central (MHz)</b>	<b>Faixa de Frequência (MHz)</b>
6,78	6,765 a 6,795
13,56	13,553 a 13,567
27,12	26,957 a 27,283
40,68	40,66 a 40,70
433,92	433,05 a 434,79
915	902 a 928
2.450	2.400 a 2.500
5.800	5.725 a 5.875
24.125	24.000 a 24.250
61.250	61.000 a 61.500
122.500	122.000 a 123.000
245.000	244.000 a 246.000

### **6.3 - Aquecimento com microondas**

O fenômeno de aquecimento através de microondas ocorre de maneira diferente, dependendo se o material é condutor ou isolante elétrico.

Quando um material condutor é exposto a um campo eletromagnético, o campo magnético irá causar o movimento de elétrons deste material. Este movimento de elétrons é conhecido como corrente elétrica. Caso este material não seja um supercondutor, a corrente

elétrica causará o aquecimento do material devido à sua resistência elétrica, também conhecido como aquecimento resistivo.

Materiais metálicos são condutores, porém não sofrem aquecimento efetivo por microondas, já que este tipo de material reflete grande parte das ondas eletromagnéticas a ele submetidas.

Em materiais isolantes não existe a movimentação de elétrons. Nestes materiais, a indução eletromagnética irá causar uma orientação elétrica dos dipolos das suas moléculas. Devido à grande frequência das ondas eletromagnéticas, irá ocorrer uma rápida e constante variação do campo eletromagnético, e, conseqüentemente, a variação da orientação dos dipolos das moléculas. Esta movimentação causada pela variação da orientação dos dipolos irá causar o aquecimento (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994). Em frequências superiores a 1 GHz, o aquecimento de materiais envolve, principalmente, o mecanismo de rotação dos dipolos (Chan, 2000) (Metaxas, 1996).

Este fenômeno pode ser facilmente observado durante o aquecimento de alimentos em fornos de microondas domésticos. A indução eletromagnética do campo de microondas irá causar a reorientação dos dipolos das moléculas de água presentes no alimento, conforme pode ser visto na figura 6.2. A variação do campo fará com que a orientação dos dipolos das moléculas de água se modifique com grande frequência, resultando no aquecimento destas moléculas, e, conseqüentemente, ocorrerá o aquecimento do alimento.

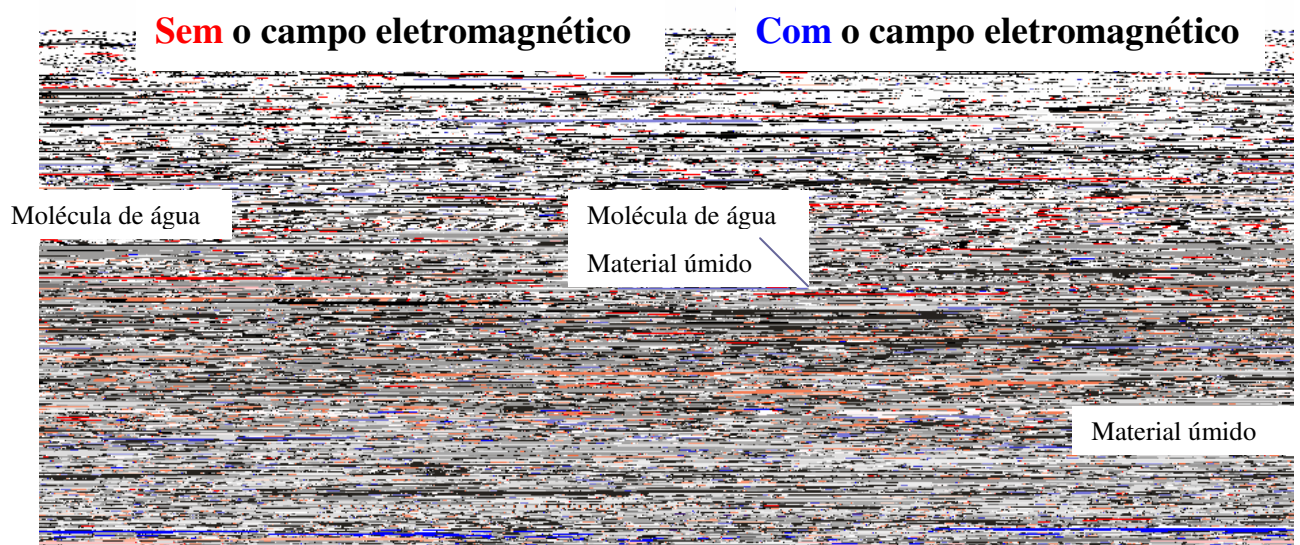


Figura 6.2 – Indução do campo eletromagnético nas moléculas de água (Mays, 2005)

#### 6.4 – Propagação das microondas nos materiais

Quando um material é exposto ao campo de microondas, ele pode apresentar, conforme suas características eletromagnéticas, comportamento desde opaco ao transparente, passando pelo comportamento dielétrico. Quando material reflete energia eletromagnética, diz-se que ele é um material opaco. Quando o material transmite energia eletromagnética, diz-se que ele é um material transparente. E quando ele absorve energia eletromagnética, diz-se que ele é um material dielétrico (Chan, 2000). Estes comportamentos são mostrados na figura 6.3.

A propagação das microondas em um material depende de suas propriedades eletromagnéticas. É muito importante o conhecimento das propriedades eletromagnéticas do material que será aquecido, para que seja possível prever o seu comportamento dentro de uma cavidade de microondas, pois o material interage com o campo de microondas, e promovendo tanto um aquecimento rápido, com lento, uniforme, ou com gradientes de temperatura.

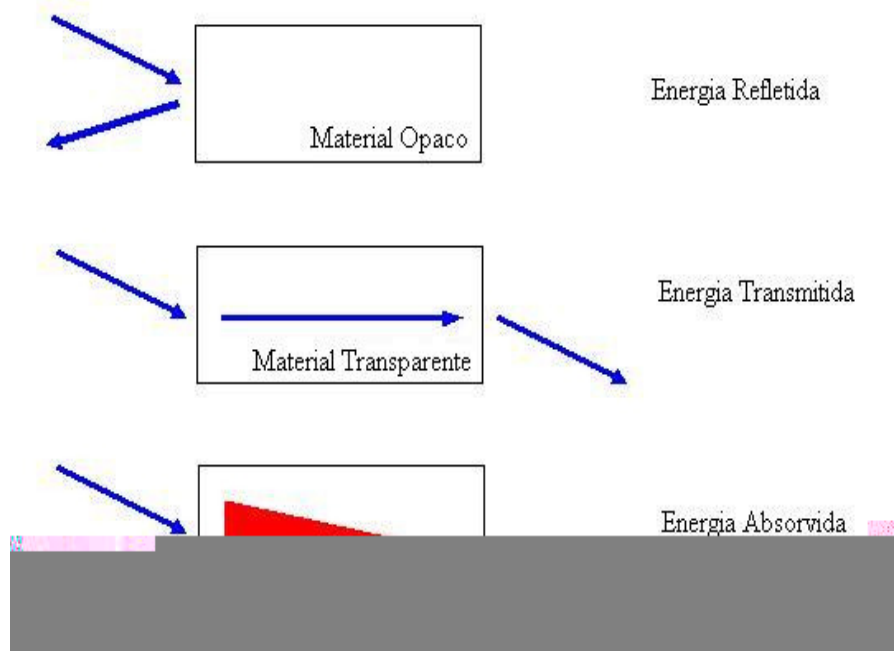


Figura 6.3 – Efeitos decorrentes da incidência do campo de microondas nos materiais, dependendo de suas propriedades (Chan, 2000).

As propriedades eletromagnéticas, que regem a propagação das microondas em um

material são a permissividade ( $\epsilon$ ), e a permeabilidade magnética ( $\mu$ ).

A permissividade é representada por um número complexo, que quantifica a habilidade do material receber e absorver energia potencial elétrica em forma de calor.

A permissividade e a permissividade relativa são dadas pelas fórmulas da figura 6.4 :

$$\boldsymbol{\epsilon} = \boldsymbol{\epsilon}_0 (\boldsymbol{\epsilon}' - \mathbf{i}\boldsymbol{\epsilon}'') \quad , \text{ é a permissividade,}$$

onde,  $\boldsymbol{\epsilon}_0 = 1 \times 10^{-9}/36\pi \text{ F/m}$  , é a permissividade no vácuo,

$$\text{e, } \boldsymbol{\epsilon}_r = \boldsymbol{\epsilon}' - \mathbf{i}\boldsymbol{\epsilon}'' \quad , \text{ é a permissividade relativa.}$$

Figura 6.4 – Permissividade (Committee on Microwave Processing of Materials, 1994).

$$\boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\mu}_0 (\boldsymbol{\mu}' - i\boldsymbol{\mu}'')$$

onde,  $\boldsymbol{\mu}_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  , é a permeabilidade do vácuo,

e,  $\boldsymbol{\mu}_r = \boldsymbol{\mu}' - i\boldsymbol{\mu}''$  , é a permeabilidade relativa

Figura 6.6 – Permeabilidade (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994).

A parte real da permeabilidade relativa,  $\boldsymbol{\mu}'$ , é conhecida como permeabilidade magnética. Ela representa a facilidade de um campo magnético penetrar em um material.

A parte imaginária da permeabilidade relativa,  $\boldsymbol{\mu}''$ , é conhecida como fator de perda magnético. Ela representa o quanto um campo magnético diminui em um material (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994).

## 6.5 - Geradores de microondas

De uma maneira simplificada, o sistema necessário para se obter o campo microondas é composto por uma fonte DC (fonte de corrente contínua) e um gerador de microondas. A fonte de corrente contínua é composta por um transformador e um retificador de corrente. O transformador possui a função de aumentar a tensão elétrica. Em alguns casos esta tensão poderá chegar à faixa de 30 kV. Em seguida, o retificador de corrente transforma a corrente alternada em corrente contínua que irá alimentar o gerador de microondas. O gerador de microondas é composto por uma válvula, que transforma a corrente contínua em ondas eletromagnéticas de alta frequência (Erickson, 1995).

Os geradores de microondas mais conhecidos são o *magnetron*, *power grid*, *klystron*, e *gyrotron*.

O *magnetron* é o gerador de microondas mais utilizado para aquecimento. Este gerador é utilizado para gerar microondas em fornos domésticos, conforme visto na figura 6.7, com potência aproximada de 1 kW e frequência variando entre 2 e 3 GHz. São muito utilizados em radares e na indústria. Um exemplar de um *magnetron* de uso industrial pode ser visto na figura 6.8. Devido à grande quantidade fabricada, possui um custo menor em relação à outros geradores de alta potência. Suas principais vantagens são: o preço, o peso, o tamanho e a eficiência. Sua eficiência pode chegar a 90%, sendo mais comuns eficiências entre 70% e 80% (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994).

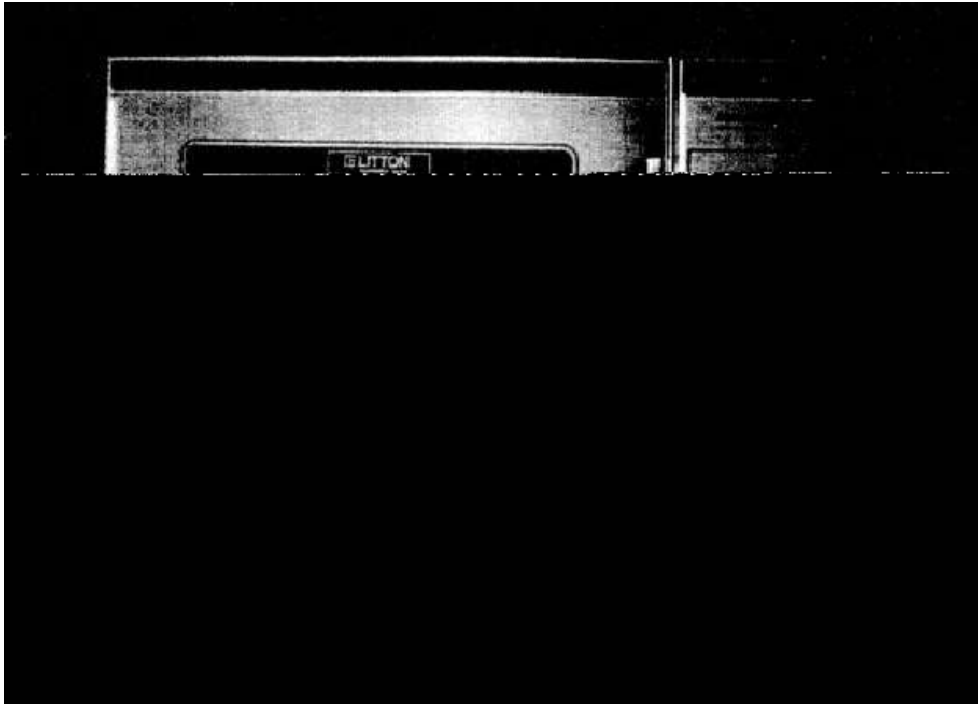


Figura 6.7 – *Magnetron* de forno doméstico (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994)

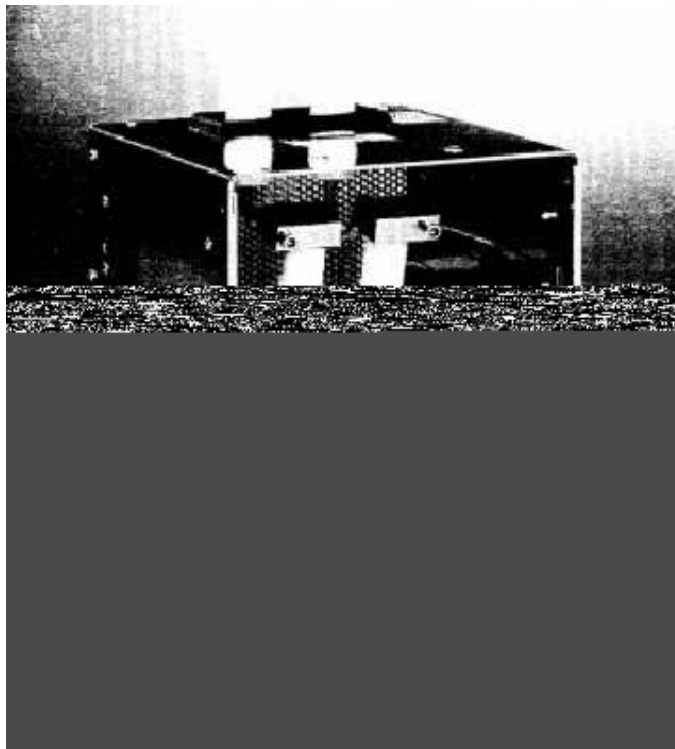


Figura 6.8 – *Magnetron* para aquecimento em processos industriais. Projetado para emitir ondas com frequência de 2,45GHz e potência de 8 kW. (Committe on Microwave Processing of Materials, 1994)

O *power grid* é um tipo de gerador de microondas de baixo custo, utilizado em baixas frequências. Este gerador é semelhante aos geradores de ondas de transmissão de rádio AM, FM e de televisão.

O gerador tipo *klystron* é utilizado quando se necessita de ondas contínuas de grande potência. São utilizados em radares civis e militares, processos industriais especiais, em pesquisas científicas em aceleradores lineares, e, em medicina, em terapias contra câncer. Sua eficiência é de 50% a 60%.

Quando se necessita de um gerador que emita ondas de grande potência e altas frequências, utiliza-se o *gyrotron*. Muito caro, grande e pesado, é utilizado em processos de fusão através de plasma. Sua eficiência é de 50% a 60%.

## 6.6 – Características do aquecimento com microondas

Aquecimento através do campo de microondas é mais rápido do que no processo de aquecimento convencional. Esta característica é decorrente da capacidade de penetração das microondas em alguns materiais. A capacidade de penetração varia para cada tipo de material e permite o aquecimento da parte interna do material ao mesmo tempo em que ocorre o aquecimento da sua superfície.

Em processos de aquecimento convencional, o aquecimento ocorre por condução, convecção, ou radiação. Inicialmente é gasta energia para aquecer o equipamento de transferência térmica, só a seguir o material recebe calor na sua superfície, e por condução térmica o calor é transmitido, lentamente, para as camadas internas. Como esta condução de calor é lenta origina gradientes de temperatura entre a superfície e o miolo do material.

No aquecimento por microondas, tanto as camadas externas, como nas camadas internas, que compreendem o volume de penetração das microondas, recebem energia eletromagnética, que se transforma em energia térmica. Deste modo o aquecimento é mais homogêneo e rápido do que no processo convencional, e, conseqüentemente, tempo e energia são economizados.

O aquecimento com microondas também permite uma resposta mais rápida para o aumento de temperatura em relação ao aquecimento convencional. Caso seja necessário um aumento de temperatura basta aumentar a potência do campo de microondas, enquanto no aquecimento convencional o processo é mais lento, onde é necessário o aquecimento do trocador de calor, e depois o aquecimento do material por condução térmica.

Com as microondas é possível realizar um aquecimento preciso em posições

específicas de um material, sendo utilizado em processos de junções e calafetação. Com as microondas existe a possibilidade de aquecer materiais a temperaturas superiores a 2000°C.

Como desvantagem, com as microondas não é possível o aquecimento direto de materiais transparentes como, por exemplo, alguns tipos de plásticos, e materiais opacos, como por exemplo, metais. Entretanto, estes materiais podem ser aquecidos com microondas com o uso de susceptores, como o carbeto de tungstênio ou de silício.

Outra desvantagem é de circunstâncias específicas, como descontinuidades no corpo a ser aquecido, que podem resultar na formação de arcos elétricos e plasmas.

Apesar dos equipamentos para aquecimento com microondas ocuparem menos espaço físico do que equipamentos de aquecimento convencional, geralmente têm um custo de implantação maior, além de ser mais complexo.

## **6.7 - Microondas na química**

Vários estudos estão sendo realizados a respeito da aplicação de microondas na área da química. Estes estudos visam verificar os efeitos causados pela aplicação do campo de microondas em vários tipos de reações químicas. Já está comprovado experimentalmente que algumas reações químicas, quando expostas ao campo de microondas, além de ter sua velocidade aumentada, apresentam um incremento na sua eficiência. Com estes estudos estão surgindo novas técnicas dentro da química como, por exemplo, a execução de reações químicas com a ausência de solventes. Muitos dos solventes utilizados em processos industriais são tóxicos, e causam problemas ambientais. Com as microondas há a possibilidade da execução de reações químicas sem solventes, o que contribui na redução da geração de resíduos químicos industriais.

As microondas são radiações eletromagnéticas fracamente energéticas em relação às radiações ionizantes, mas têm energia suficiente para promover o desemparelhamento de spins de átomos das moléculas, abrindo assim novas opções de mecanismos de reação química via de regra mais rápidos que os convencionais (Buchahenko, 2002).



## 6.8 - Microondas na indústria da madeira

Na Austrália, já se utiliza o campo de microondas na aceleração do processo de secagem de madeira de longa data.

No processo convencional, a madeira verde ao ser desdobrada da tora deve passar por uma pré-secagem ao ar livre, para em seguida de ingressar na estufa para secagem final. Como a quantidade de umidade presente na madeira verde é grande, se ela for colocada diretamente na estufa ocorrem trincas, rachaduras e envergamentos decorrentes de tensões superficiais.

Na secagem através de estufa, o aquecimento inicial da madeira não é homogêneo. O aquecimento, primeiramente, ocorre na parte externa da madeira, e, por condução, o calor é transmitido para o centro. Este processo de condução de calor é muito lento, pois a madeira é um material de baixa condutividade térmica. Assim a superfície da madeira irá secar mais rápido que o centro, sendo um processo de secagem de fora para dentro. Em sua superfície a madeira seca, enquanto o miolo permanece úmido. As células de madeira úmidas no centro da madeira ocupam um volume maior do que as células secas localizadas na superfície. Esta diferença de volume entre as células irá causar tensões mecânicas que resultarão em empenamentos, rachaduras e trincas na madeira. Quanto maior a umidade da madeira colocada na estufa, maior a possibilidade de ocorrerem estes problemas, por isso a necessidade da pré-secagem ao ar livre.

No novo processo a pré-secagem ao ar livre é substituída pela secagem com a aplicação de microondas. Devido ao poder de penetração das microondas, o centro da madeira se aquece rápido. Com o aquecimento, a umidade localizada no centro da madeira se transforma em vapor. A pressão formada pelo vapor causará microfissuras na madeira, aumentando sua permeabilidade nos sentidos tangencial, radial e longitudinal, permitindo a migração do vapor para fora da madeira. As microfissuras são causadas pelo rompimento das membranas responsáveis pela união das células, e dos vasos celulares, que são responsáveis pela distribuição da seiva e nutrientes na árvore (Torgovnikov, 2001). A secagem através da exposição ao campo de microondas é de dentro para fora. Como é possível controlar a temperatura no aquecimento por microondas em conjunto com sistemas de controle de temperatura externa, pode-se fazer a pré-secagem de madeiras com alto teor de umidade com uma grande redução na ocorrência de rachaduras, trincas ou empenamentos na madeira.

A comparação entre o processo de secagem convencional e o processo de secagem por microondas é representada na figura 6.9.



Figura 6.9 – Comparação entre secagem de madeira por aquecimento convencional e por microondas (Fleuriot, 2006)

Além da grande redução na ocorrência das rachaduras, o processo com a utilização de microondas é mais rápido. Enquanto o processo convencional, desde a pré-secagem ao ar livre até a saída da madeira seca da estufa dura de 60 a 120 dias, no processo utilizando-se microondas, a saída da estufa ocorre após 6 a 10 dias, como pode ser visto na figura 6.10.

Outra vantagem é a possibilidade de tratamento de madeiras resinosas com substâncias preservantes em autoclave. Isto ocorre graças ao aumento da permeabilidade causado pela saída do vapor interno, permitindo a penetração de substâncias preservantes, mesmo em madeiras resinosas. Sem esta permeabilidade as substâncias utilizadas para tratamento contra fungos e insetos penetram no máximo 2 mm a 3 mm na superfície de madeiras resinosas, impossibilitando o tratamento. A permeabilidade também possibilita a injeção de resinas na madeira para aumentar a sua resistência, ou até corantes para a modificação de sua coloração (Wilkinson, 2004).

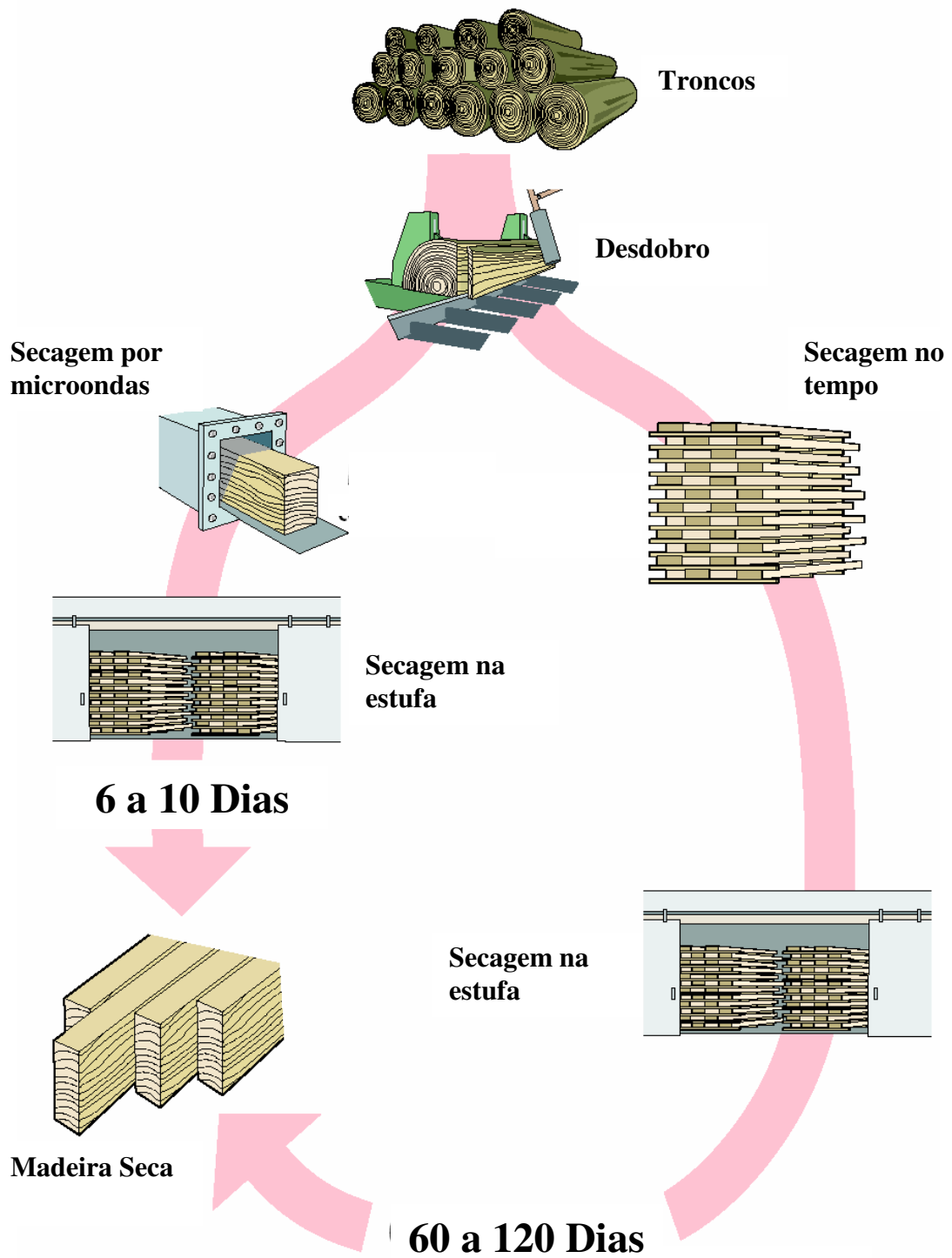


Figura 6.10 – Comparação entre secagem de madeira convencional e com microondas  
(Wilkinson,2004)

Devido a estes fatores, a secagem de madeira por microondas demonstra ser mais eficiente do que a secagem por aquecimento convencional.

O procedimento de secagem de madeira através de microondas descrito acima é realizado sob pressão atmosférica. Na Alemanha, em 2003, foram realizados estudos de secagem de madeira com microondas, porém no vácuo. Utilizando-se um secador à microondas e vácuo, dotado de uma câmara de secagem operando com dois geradores de microondas tipo *magnetron* de frequência de 2,45 GHz e potência de 2.000 W cada, e pressão variando entre 30 e 200 mbar, foi possível secar pedaços de madeira em minutos, o que levaria dias ou semanas no processo de secagem convencional em estufa, ou horas no microondas em condições atmosféricas (Seyfarth,2003). O equipamento utilizado pode ser visto na figura 6.11. Também f3

## **7.0 – COMPÓSITO DE RESÍDUOS DE MADEIRA E RESINA URÉIA FORMALDEÍDO**

### **7.1 – Descrição**

O desenvolvimento deste compósito de resíduos de marcenaria e resina uréia formaldeído tem a intenção de contribuir com mais uma opção para a destinação dos resíduos provenientes de madeira maciça, e de chapas de madeira reconstituída utilizadas por marcenarias de micro e pequeno porte, localizadas em grandes metrópoles. Esta destinação não trata o resíduo de madeira como lixo, mas, sim, como uma matéria prima, podendo trazer retorno financeiro para as marcenarias.

As marcenarias metropolitanas são na maioria fabricantes de móveis residenciais e comerciais sob encomenda. Normalmente são empresas familiares, com baixo poder econômico e com baixa capacidade tecnológica.

Desta maneira, o processo de fabricação do compósito deve ser simples, aproveitar parte do maquinário existente, utilizar qualquer tipo de resíduo de madeira gerado, e utilizando uma resina de baixo custo, de bom desempenho e conhecida no ramo.

O resíduo de madeira, na maioria das marcenarias, é composto por resíduos de chapas de madeira reconstituída. Tendo em vista a grande praticidade oferecida para a fabricação de mobiliário residencial e comercial sob encomenda, as chapas de madeira reconstituída, com maior destaque para as chapas de MDF, são uma das principais matérias primas utilizadas pelas marcenarias metropolitanas.

A madeira maciça, mais cara e mais trabalhosa, é utilizada com menor frequência pelo ramo de mobiliário sob encomenda. A madeira maciça é mais utilizada por empresas de esquadrias, e em aplicações que necessitem de reforço estrutural, bem como aplicações que necessitem de resistência maior à umidade. Um exemplo de aplicação estrutural é o entarugamento para fixação de painéis de madeira para revestimento de paredes. Muitas vezes estes painéis ficam afastados da parede por volta de 50 mm, por motivos técnicos ou arquitetônicos, necessitando uma estrutura de sustentação.

Deste modo existem empresas que geram resíduos exclusivamente provenientes de chapas de madeira reconstituída, outras que geram resíduos exclusivamente provenientes de madeira maciça, e outras, que geram resíduos provenientes de ambas matérias primas. Logo, para que este compósito seja exequível por quaisquer destas empresas, sua fabricação deverá ser possível com a utilização de qualquer tipo de resíduo de madeira.

Este compósito pode ser utilizado para a fabricação de artesanatos, peças construtivas, peças decorativas, e peças repetitivas que exijam usinagem mais complexa.

A fabricação do compósito é através de prensagem em um molde, com a utilização de uma prensa com aquecimento convencional. Nesta prensagem o compósito toma a forma do molde com a cura inicial da resina.

Pelo método convencional, a cura final da resina é feita durante um período de quarentena, em estoques de estabilização. Para acelerar a cura final da resina, evitando a utilização de área útil das marcenarias com estoques de estabilização, este trabalho propõe a exposição do compósito ao campo microondas. Como foi citado no Capítulo 6 - Microondas, algumas indústrias já utilizam as microondas para a cura de resinas. O aquecimento final por microondas permite a aceleração de cura de resinas através do aumento da velocidade e da eficiência das reações químicas. A uréia presente na resina uréia formaldeído funciona como elemento facilitador para a absorção da energia das microondas (Metaxas, 1996).

## **7.2 – Embasamento técnico**

Os processos de fabricação de chapas de MDF, aglomerados e OSB foram adotados como embasamento técnico. Estes processos são muito semelhantes, diferindo apenas no tipo de fibra, ou partícula de madeira utilizada como matéria prima, na maneira como o colchão de fibras, ou partículas de madeira é formado, e no tipo de resina. Os métodos de aplicação de resina, prensagem, resfriamento, estabilização e corte são praticamente os mesmos. São processos que já foram amplamente estudados, de modo que suas técnicas podem servir como base para o desenvolvimento do compósito.

Especificamente, o processo de fabricação do MDF foi estudado com maior profundidade para a obtenção de conhecimentos técnicos para o desenvolvimento do compósito, tendo em vista ser uma das matérias primas mais utilizadas nas marcenarias metropolitanas, e pela aparência semelhante com o compósito em estudo.

## 7.2.1 - Processo de fabricação do MDF

### 7.2.1.1 - Descascamento

Grande parte das fibras para a fabricação de MDF é obtida de madeira de reflorestamento. Aqui no Brasil o *pinus radiata* é muito utilizado. O diâmetro da tora não é importante. As toras entram no descascador com comprimento entre dois metros e dois metros e meio.

A tora poderia ser transformada em cavacos ainda com a casca, porém a qualidade do processo e do produto final seria reduzida. A retirada da casca diminui a possibilidade de danos aos equipamentos por materiais contaminantes presentes na casca como, por exemplo, terra e pedregulhos, diminui a contaminação com material orgânico não desejável, como por exemplo, fungos, contribui para a estabilização dos níveis de pH reduzindo a corrosão dos equipamentos, e permite uma aparência final da superfície da chapa mais homogênea (Australian National University, 2005).

A casca normalmente é aproveitada para geração de energia e vapor utilizados no processo, reduzindo os custos operacionais pela diminuição de consumo de energia externa (Metso, 2005). A figura 7.1 apresenta o sistema “*GentleBarking*” de descascamento da empresa Metso.

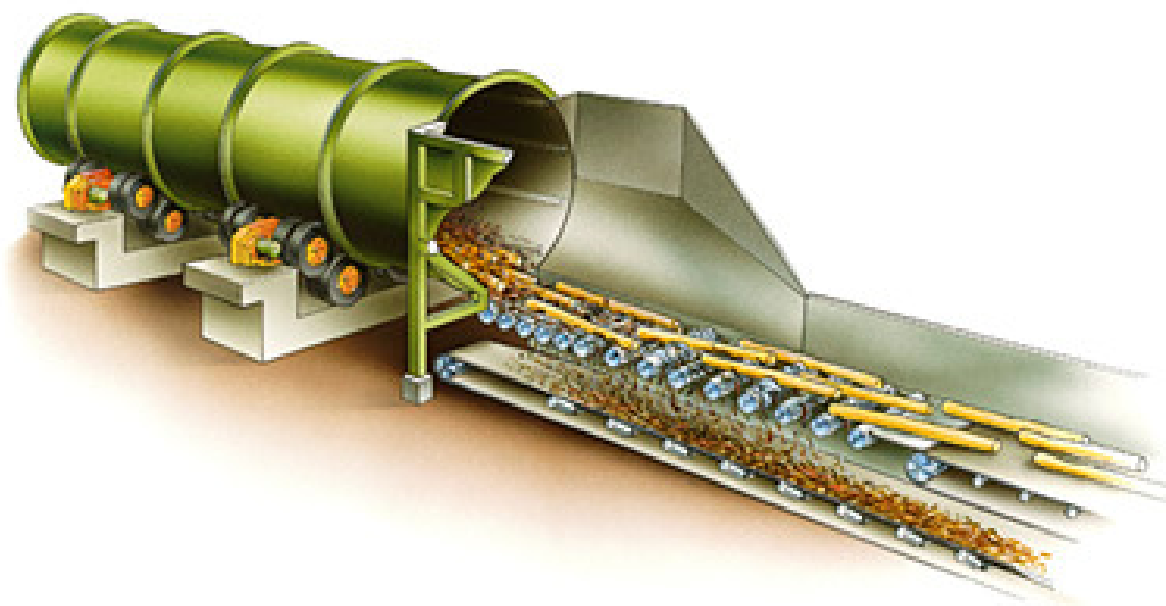


Figura 7.1 – Sistema “*GentleBarking*” de descascamento (Metso, 2005)

### 7.2.1.2 - Fragmentação

A tora sem casca é transformada em cavacos através de picadores. O picador é composto por um disco giratório, que possui de quatro a dezesseis lâminas radiais. O tamanho do cavaco gerado pode ser controlado pela velocidade radial das lâminas, pelo ângulo de entrada da tora, pela distância entre as lâminas e pelo ângulo das lâminas em relação ao disco (Australian National University, 2005). A figura 7.2 apresenta o picador tipo “*Camura GS*” da empresa Metso.

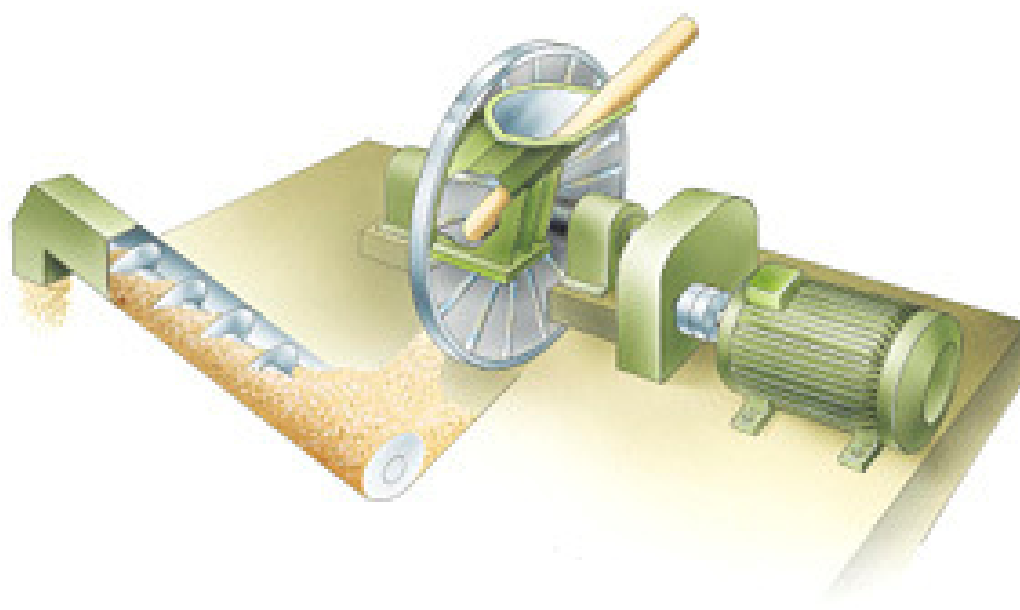


Figura 7.2 – Picador tipo “*Camura GS*” (Metso, 2005)

### 7.2.1.3 - Classificação dos cavacos

Os cavacos passam por peneiras, sendo classificados pelo tamanho. Os cavacos maiores, ou pedaços de madeira retidos nas peneiras retornam para o picador.

### 7.2.1.4 - Armazenamento de cavacos

Grande quantidade de cavaco é armazenada, para garantir a continuidade do processo. Normalmente é armazenada uma quantidade suficiente para vinte e quatro horas de produção. A figura 7.3 apresenta um pátio, onde são depositados cavacos para fabricação de MDF.





Figura 7.3 – Pátio onde são depositados os cavacos na fábrica de MDF da Tafisa em Piên - Paraná (Tafisa, 2005).

#### **7.2.1.5 - Lavagem dos cavacos**

Muitas impurezas tais como terra, pedregulhos e metais se encontram misturados aos cavacos. Muitas impurezas são adquiridas no pátio, onde ficam estocados a céu aberto. Para a fabricação de painéis de qualidade e impedir a presença de partículas que podem danificar os equipamentos dos processos subseqüentes, é importante a eliminação destes minerais misturados aos cavacos, tornando-se essencial a lavagem dos mesmos.

Hoje em dia, são também utilizados cavacos e serragem proveniente da indústria moveleira para a fabricação das fibras combinada aos cavacos provenientes de árvores de reflorestamento na proporção de 1 para 9. O material proveniente da indústria moveleira é utilizado para o controle do perfil de distribuição de tamanhos de fibras na chapa. Este material também ajuda no controle de distribuição de umidade (Strategis, 2005). Como este material vem de serrarias e marcenarias, tem grande possibilidade de vir com impurezas, tais como pregos, parafusos, ou qualquer outro material que possa ser capturado pelo sistema de

coleta de pó. Sendo assim, é indispensável a utilização de separadores magnéticos para a captura de impurezas metálicas de metais e a lavagem deste material. A figura 7.4 apresenta um sistema de lavagem de cavacos.

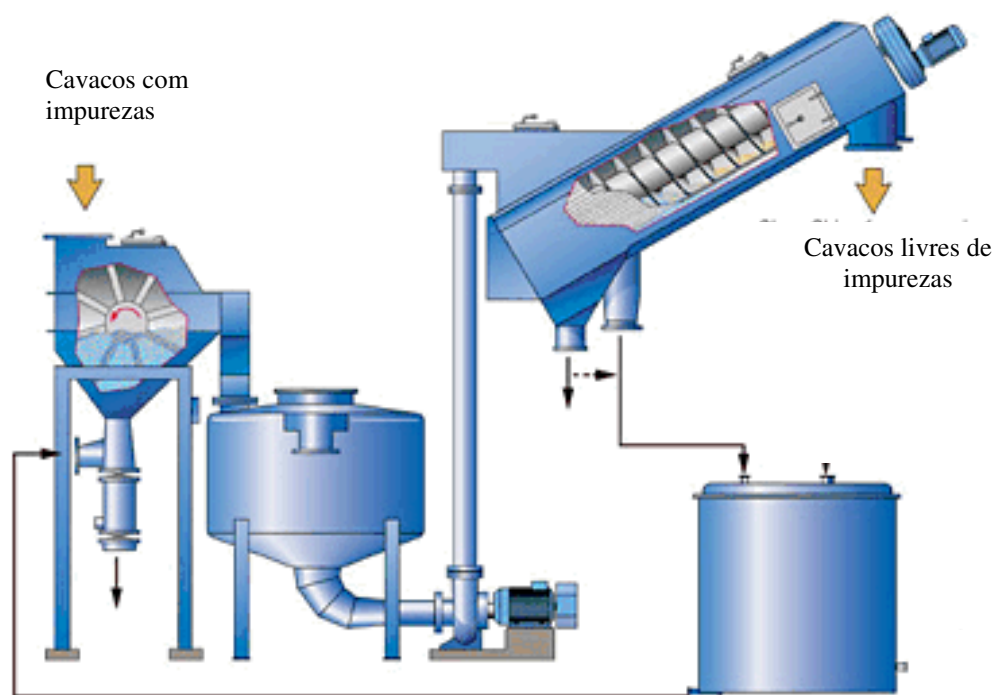


Figura 7.4 – Sistema de lavagem de cavacos (Metso, 2005).

Um exemplo de indústria de MDF que utiliza cavacos e serragem provenientes de serrarias e indústrias moveleiras é a Tafisa, localizada na cidade de Piên – PR, que compra resíduos da Famossul Indústria e Comércio de Móveis (Cassilha, 2005).

#### 7.2.1.6 - “Digestão” dos cavacos

Nesta fase os cavacos passam por um processo digestor, com a função de amolecer os cavacos para facilitar o desfibramento, e eliminar grande parte das resinas naturais solúveis em água existentes na madeira. Este processo é feito dentro de um digestor à vapor com duração aproximada de cinco minutos, a temperatura aproximada de 140°C, e pressão de 101 kPa.

É importante a eliminação das resinas solúveis em água para que o produto final tenha uma coloração uniforme. A prensagem das fibras, sem a eliminação destas resinas, resulta na formação de uma chapa com coloração escura e com pontos de descoloramento. Além disto, a

retirada destas resinas naturais permite uma melhor adesão da resina uréia formol às fibras de madeira (Anthony, 1992). A figura 7.5 apresenta um conjunto composto por um digestor e um desfibrador.

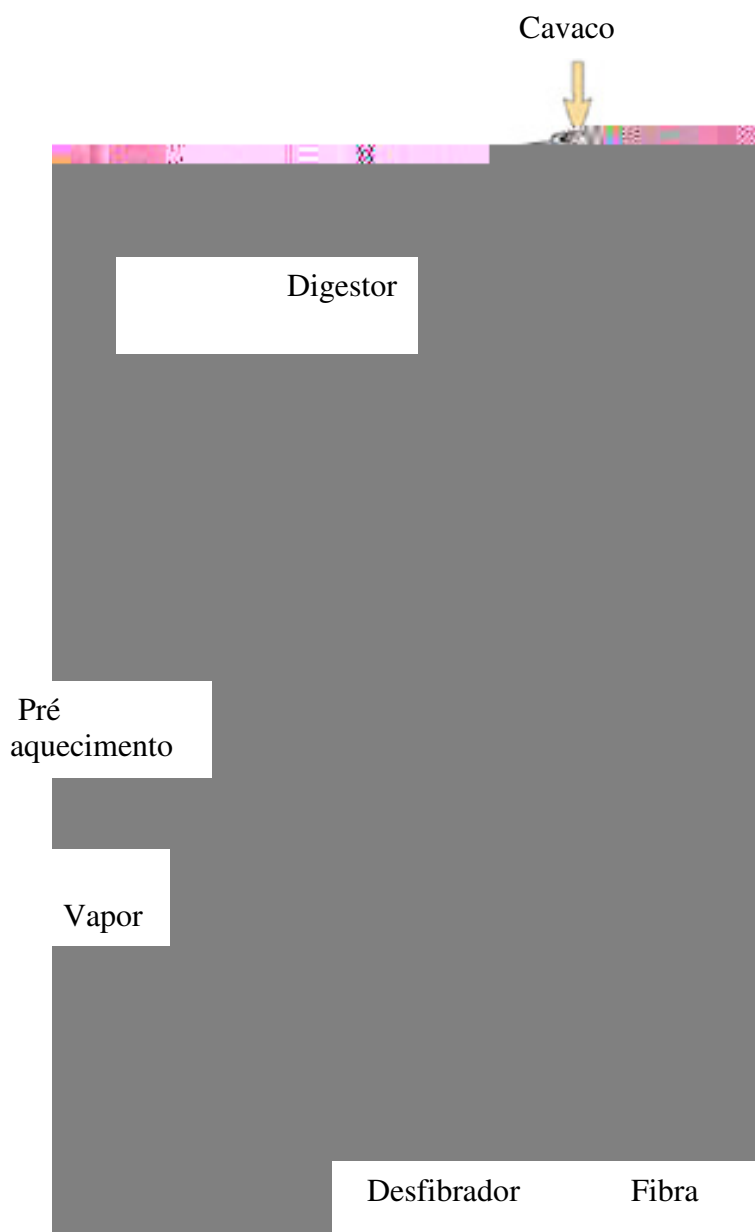


Figura 7.5 – Conjunto digestor e desfibrador (Metso, 2005)

#### 7.2.1.7 - Desfibramento

O desfibramento da madeira, ou seja, a transformação dos cavacos em fibras, é feito através de uma ação combinada de corte, cisalhamento mecânico e fricção (Strategis, 2005). Este trabalho é realizado por um equipamento chamado desfibrador. Ele é movido à

eletricidade ou à vapor, e é composto por dois discos com superfície ranhurada no sentido radial. O desfibrador pode ter um disco fixo e o outro rotativo, ou então os dois rotativos (Remade, 2003). As ranhuras dos discos são maiores e espaçadas no centro, tornando-se menores e mais próximas à medida que se aproxima da circunferência externa (Australian National University, 2005). À medida que os cavacos, amolecidos no digestor, são introduzidos entre os discos, o atrito gerado pela compressão entre os mesmos causa o desfibramento. Este equipamento é capaz de desfibrar sem interrupção de cinco a quarenta e cinco toneladas de cavacos por hora (Metso, 2005). A figura 7.6 apresenta um desfibrador.



Figura 7.6 – Desfibrador série P da Metso (Metso, 2005)

A qualidade das fibras depende do tempo de retenção dos cavacos no digestor, força de compressão aplicada, geometria das ranhuras dos discos, velocidade de rotação dos discos, e tempo de permanência dos cavacos entre os discos.

Alguns pedaços de madeira tendem a escapar da região de refinamento devido à grande força centrífuga causada pelo giro dos pratos. Para reduzir este problema, pode-se aumentar o diâmetro dos discos, conseqüentemente, aumentando a zona de refino, ou fazer o refino em dois estágios (Strategis, 2005).

### 7.2.1.8 - Aplicação de resina e parafina

Ao sair do desfibrador, as fibras seguem por um sistema de transporte pneumático, conhecido como “*blowline*”, que consiste em uma tubulação, onde internamente corre ar em grande velocidade com a função de transportar as fibras. Na parte interna do primeiro setor desta tubulação existe um ou mais injetores tipo *spray*, que aplicam resina às fibras. Ao entrar na tubulação, a resina se atomiza automaticamente formando uma neblina, indo diretamente ao encontro das fibras que trafegam pela tubulação à grande velocidade. A grande turbulência dentro da tubulação ajuda na mistura das fibras com a resina de uma maneira homogênea, evitando a formação de pontos com excesso de resina. A resina normalmente utilizada é a uréia formaldeído, na proporção de 6% a 12% em massa do peso de fibra seca.

Juntamente à resina é aplicada uma pequena quantidade de parafina em forma de emulsão. Esta quantidade varia entre 0,5% e 2% de massa de parafina seca em relação à massa de fibra seca. A parafina tem como finalidade ajudar a impedir a absorção de umidade pela chapa de MDF, quando exposta em pequeno período de tempo à mesma, e, conseqüentemente, aumentar a estabilidade dimensional da chapa (Anthony, 1992). A parafina não é capaz de proteger a chapa contra grandes quantidades de umidade e longos períodos de exposição. Para aumentar a resistência à umidade, é necessária a aplicação de maiores quantidades de parafina, porém isto traz um efeito indesejado. A parafina interfere com grande redução na capacidade de adesão da resina.

Chapas com grande resistência à umidade são fabricadas com a resina melamina formaldeído. Por ser uma resina muito mais cara, é utilizada misturada à resina uréia formaldeído aumentando a sua resistência à umidade.

Endurecedores e catalizadores são adicionados em alguns processos para o controle da taxa de cura da resina (Australian Wood Panels Association Incorporated, 2001).

Outros aditivos podem ser adicionados, tais como fungicidas, inseticidas e ignífugos.

### 7.2.1.9 - Secagem das fibras

A secagem é realizada por um secador composto pelo segundo setor da “*blowline*”. Este segundo setor é composto por uma tubulação medindo, aproximadamente, 1,50 metros de diâmetro e comprimento entre 90 e 100 metros, e um ciclone. A tubulação deve possuir um trecho reto de, no mínimo, 30m de comprimento após a injeção de resina. A existência de curvas antes destes 30 metros pode causar um acúmulo de fibra na tubulação. As fibras

passam dentro da tubulação a uma velocidade aproximada de 30 metros por segundo. Dentro da tubulação é injetado ar superaquecido, atingindo temperaturas de até 180°C, e no ciclone temperatura entre 50°C e 70°C.

O secador tem como objetivo reduzir a umidade das fibras para 8% a 15% em massa. O excesso de umidade é transformado em vapor, e retirado do processo. Em média a umidade utilizada no processo de fabricação de MDF é de 12% em massa.

O processo de fabricação de MDF é considerado um processo de prensagem a seco devido ao baixo teor de umidade das fibras.

O tempo de residência das fibras na tubulação é de 3 a 5 segundos, e no ciclone de 3 a 4 segundos (Strategis, 2005).

A secagem das fibras é realizada para a redução de tempo de prensagem, melhorando o resultado econômico do processo, através do aumento de produtividade e economia de energia. Porém é importante que a umidade não seja menor que 8%, pois é ela que ajuda na transferência de calor para a parte interna da chapa.

Durante a secagem perde-se uma pequena parte da resina, causada por cura precipitada.

Existem estudos na Austrália e Nova Zelândia sobre a utilização de rádio frequência para a secagem das fibras (Chipanski, 2005).

#### **7.2.1.10 - Formação do colchão de fibras**

Após a secagem, as fibras são depositadas no silo de fibras, também conhecido como tanque pulmão (Remade, 2003). É armazenada uma quantidade suficiente a garantir a continuidade do processo sem interrupções.

Dentro do silo, as fibras passam por um rolo dentado que tem a função de romper eventuais bolas de fibra com excesso de resina. Em seguida, um sistema dosador de quantidade, composto de rolos, injeta as fibras no compartimento, onde serão entrelaçadas. Dentro deste compartimento as fibras são distribuídas uniformemente sobre a esteira que levará o colchão para prensa através de rolos, por sistemas vibratórios, ou por sistemas de vácuo. A distribuição de fibras assistida por vácuo é a mais comum. A esteira que recebe as fibras é perfurada. Abaixo da esteira um sistema de vácuo causa uma pressão negativa sobre a superfície da mesma, fazendo que as fibras se grudem a ela. Desta maneira o colchão de fibras se forma até o equilíbrio de pressão. A pressão negativa é ajustada conforme a espessura desejada do colchão e a densidade final da chapa de MDF. Nas regiões mais finas do colchão

a pressão negativa é maior, atraindo uma maior quantidade de fibras para estas regiões. As principais vantagens deste método é a homogeneidade da distribuição das fibras, e a retirada do ar entre as fibras em função do vácuo (Binos Technologies, 2005). A figura 7.7 apresenta um silo de fibras.



Figura 7.7 – Silo de Fibras (Binos Technologies, 2005).

A altura do colchão de fibras que sai do silo é limitada pela abertura da boca de saída. A altura desta abertura é da ordem de sete a oito vezes a espessura final da chapa que está sendo fabricada (Burch, 2005). As fibras do colchão, que estão acima da altura desta abertura, são cortadas por lâminas, e coletadas através de vácuo, retornando à entrada do silo. A figura 7.8 apresenta a formação do colchão de fibras.

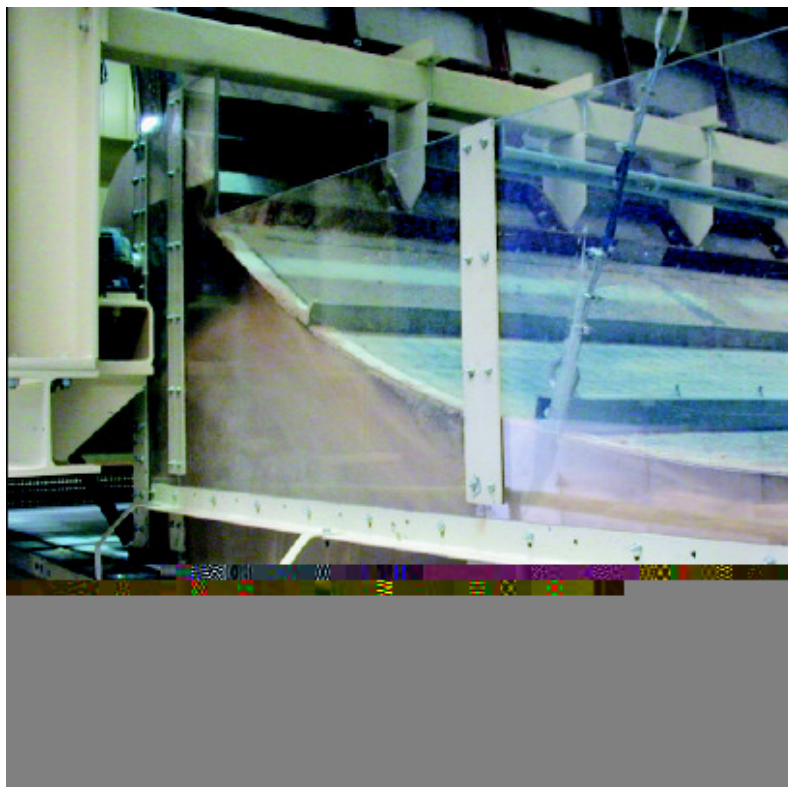


Figura 7.8 – Detalhe da formação do colchão (Binos Technologies, 2005).

#### 7.2.1.11 – Pré-prensagem

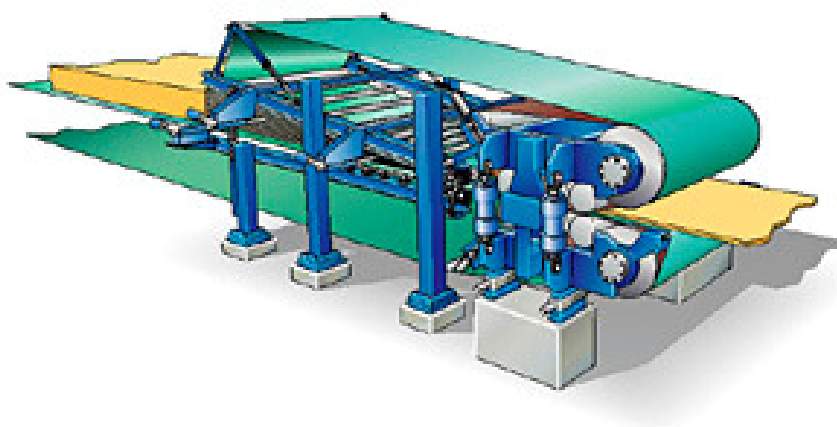


Figura 7.9 – Pré-prensagem das fibras (Metso, 2005)

Antes de entrar na prensa quente, o colchão de fibras é prensado a frio através de rolos, para a retirada do ar entre as fibras, melhorando o desempenho da prensagem final. A figura 7.9 apresenta a representação gráfica de um equipamento de pré-prensagem de fibras, e a figura 7.10, a saída das fibras da pré-prensagem.





Figura 7.10 – Saída da pré-prensagem do colchão de fibras (Tafisa, 2005)

#### **7.2.1.12 - Prensagem**

O tempo de prensagem das fibras é de aproximadamente 6 a 15 segundos por milímetro de espessura de chapa. A temperatura média de prensagem é 140°C a 220°C. A pressão típica é de 2 a 3 MPa (Australian Wood Panels Association Incorporated, 2001).

Os processos podem ser em batelada ou contínuo.

Estudos indicam que, em prensagens com temperaturas superiores a 145°C, ocorre uma redução da emissão de formaldeídos da chapa de MDF pronta. (Anthony, 1992)

No processo em batelada a fibra é prensada entre pratos metálicos aquecidos. A espessura da chapa é definida por paradas mecânicas, ou sensores eletrônicos, que interrompem o fechamento dos pratos, quando a chapa atingir a espessura desejada. Este ponto de fechamento da prensa deve ser atingido antes que a resina cure.

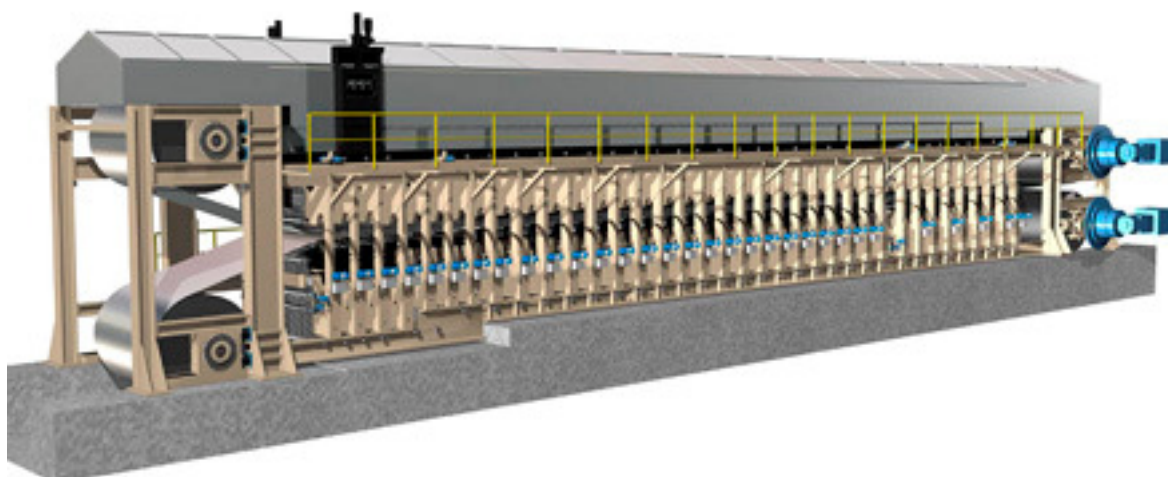


Figura 7.11 – Prensa contínua (Metso, 2005)

No processo contínuo, as fibras seguem entre duas esteiras, uma inferior e a outra superior, sendo comprimidas por rolos aquecidos. Algumas prensas possuem sistemas de injeção de vapor para auxiliar o aquecimento das fibras. A esteira superior é perfurada para permitir a saída de ar do colchão de fibras. Estas prensas possuem comprimento de 15m a 50m, e largura de 2,00 a 2,50m. As figuras 7.11 e 7.12 apresentam prensas contínuas.



Figura 7.12 – Prensa contínua da Fábrica de MDF da Tafisa (Tafisa, 2005)

A prensa é dividida em dois estágios. No estágio inicial, correspondente a 70% a 75% do percurso, a prensa é aquecida. No estágio final, que corresponde a 25% a 30% do percurso, inicia-se o processo de resfriamento da chapa de MDF formada.

Durante a prensagem, por ser a temperatura superior a 140°C, pode ocorrer formação de vapor de água no interior da chapa, decorrente de um excesso de umidade das fibras na entrada da prensa. Este vapor exerce uma pressão interna, em contraposição à pressão exercida pela prensa na parte externa da chapa. Se a pressão interna ainda existir quando a chapa sair da prensa, o vapor, não tendo mais a contraposição da pressão externa, na tentativa de escapar, causará rachaduras internas e irregularidades superficiais na chapa. Para resolver este problema se faz o resfriamento da chapa no setor final da prensa, reduzindo a pressão de vapor na parte interna da mesma.

O calor retirado no setor final da prensagem pode ser utilizado para o aquecimento do setor inicial, diminuindo o consumo de energia (Metso, 2005). A figura 7.13 representa os dois setores da prensa contínua.

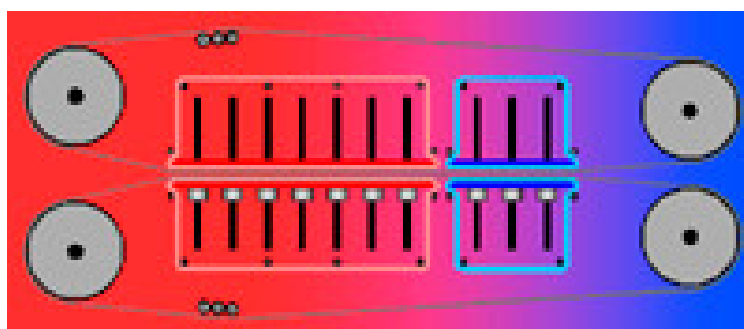


Figura 7.13 – Desenho representativo da prensagem com resfriamento (Metso, 2005)

As prensas contínuas permitem um controle melhor da espessura do painel formado em relação às prensas de pratos. Em consequência disto, o controle da densidade dos painéis também será superior. As prensas contínuas possuem um preço maior, porém este gasto é compensado pela economia no lixamento, redução de perdas de chapas, e redução do custo de instalação, por necessitar de fundações menos robustas e menor altura do pé direito do prédio.

#### 7.2.1.13 – Pré-corte

Ao sair da prensa o colchão de fibras prensado é seccionado longitudinalmente,

formando-se assim as chapas. As chapas são cortadas com medidas um pouco superiores á medida final. Como o processo é contínuo, a serra trabalha deslocando-se diagonalmente, acompanhando a esteira e ao mesmo tempo cortando o MDF. Esta serra é conhecida como *cross sawn* (Burch, 2005).

#### 7.2.1.14 - Resfriamento

As chapas são resfriadas no resfriador tipo estrela até a temperatura ambiente, para evitar variações dimensionais da chapa.

Este tipo de resfriador, em processos contínuos, permite o resfriamento das chapas sem interrupções. Este equipamento possui rotação e quantidade de pratos rotatórios, compatível com a velocidade do processo. Cada chapa, já cortada, entra em um prato posicionado em um dos lados do resfriador, e ao completar um giro de 180°, a chapa é descarregada. Durante o giro as chapas são resfriadas através de ventilação forçada. Ao sair deste aparelho, as chapas são enviadas para o estoque intermediário, também conhecido como setor de estabilização. As figuras 7.14, 7.15 e 7.16 apresentam o resfriador estrela.

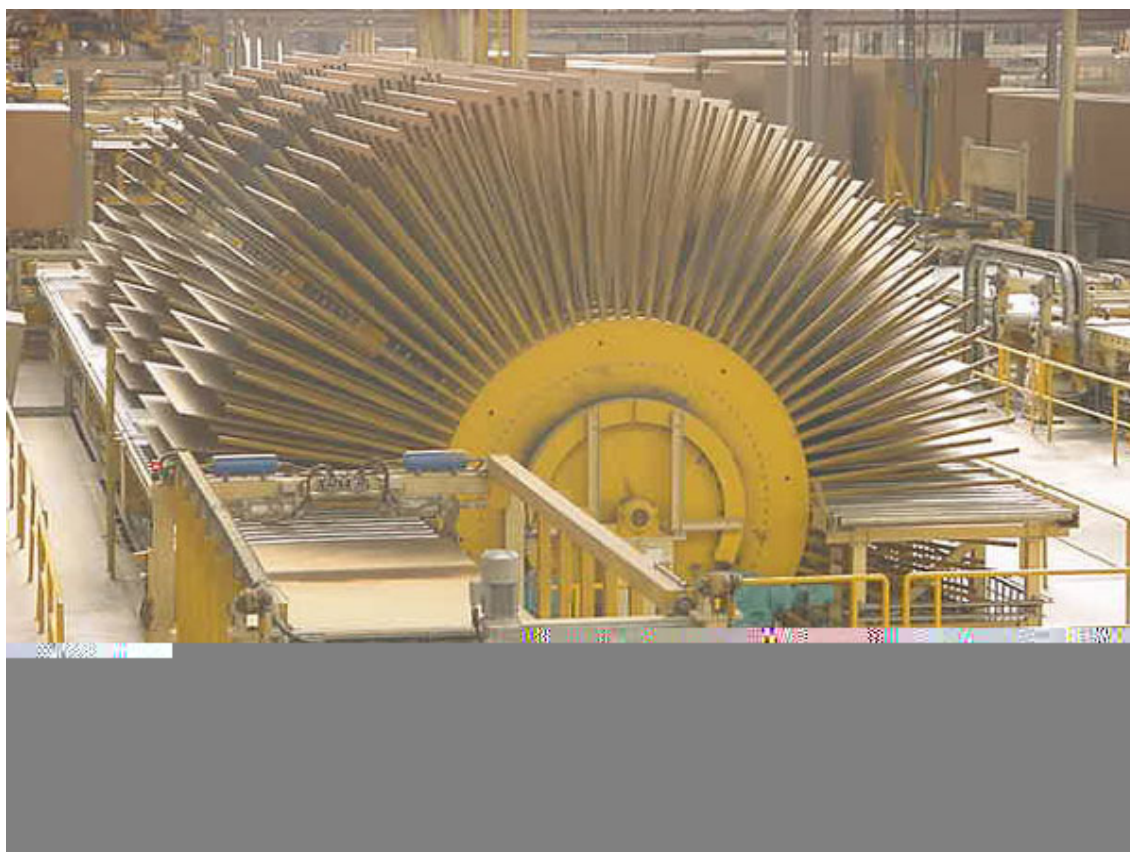


Figura 7.14 – Resfriador tipo estrela (Tafisa, 2005)



Figura 7.15 – Detalhe do resfriador estrela (Tafisa, 2005)



Figura 7.16 – Detalhe da saída das chapas do resfriador (Tafisa, 2005).

### **7.2.1.15 - Estocagem intermediária**

Após o resfriamento as chapas são empilhadas e estocadas por um período de tempo suficiente para que ocorra a estabilização com a temperatura e a umidade do meio ambiente. Este período de espera também serve para que ocorra a cura completa da resina (Australian National University, 2005). Este processo é conhecido como estabilização ou climatização das chapas.

O tempo de estocagem irá depender da espessura da chapa e do tipo de resina utilizado. Segundo a assistência técnica da Duratex S.A. (Drezza, 2006), o tempo mínimo de estabilização para chapas de até 9mm é de 24 horas. Para chapas de 10mm a 25mm, o tempo mínimo é de 36 horas, e chapas de 30 a 36mm, o tempo é de 48 horas.

As chapas são estocadas em pilhas de até 3,5 metros de altura. Para exemplificar, uma pilha formada de chapas de MDF de 15mm, possui 230 unidades.

A Duratex possui duas linhas de fabricação de MDF, sendo uma de fibra de pinus e a outra de fibra de eucalipto. Tomando a afaça



Figura 7.17 – Lixamento das chapas de MDF (Metso, 2005)

#### **7.2.1.17- Empacotamento**

Após a estabilização as chapas recebem identificação de espessura na sua borda, e empacotadas em forma de fardos fechados com cintas metálicas. O MDF está pronto para ser comercializado.

A figura 7.18 apresenta um diagrama completo da fabricação de chapas de MDF.

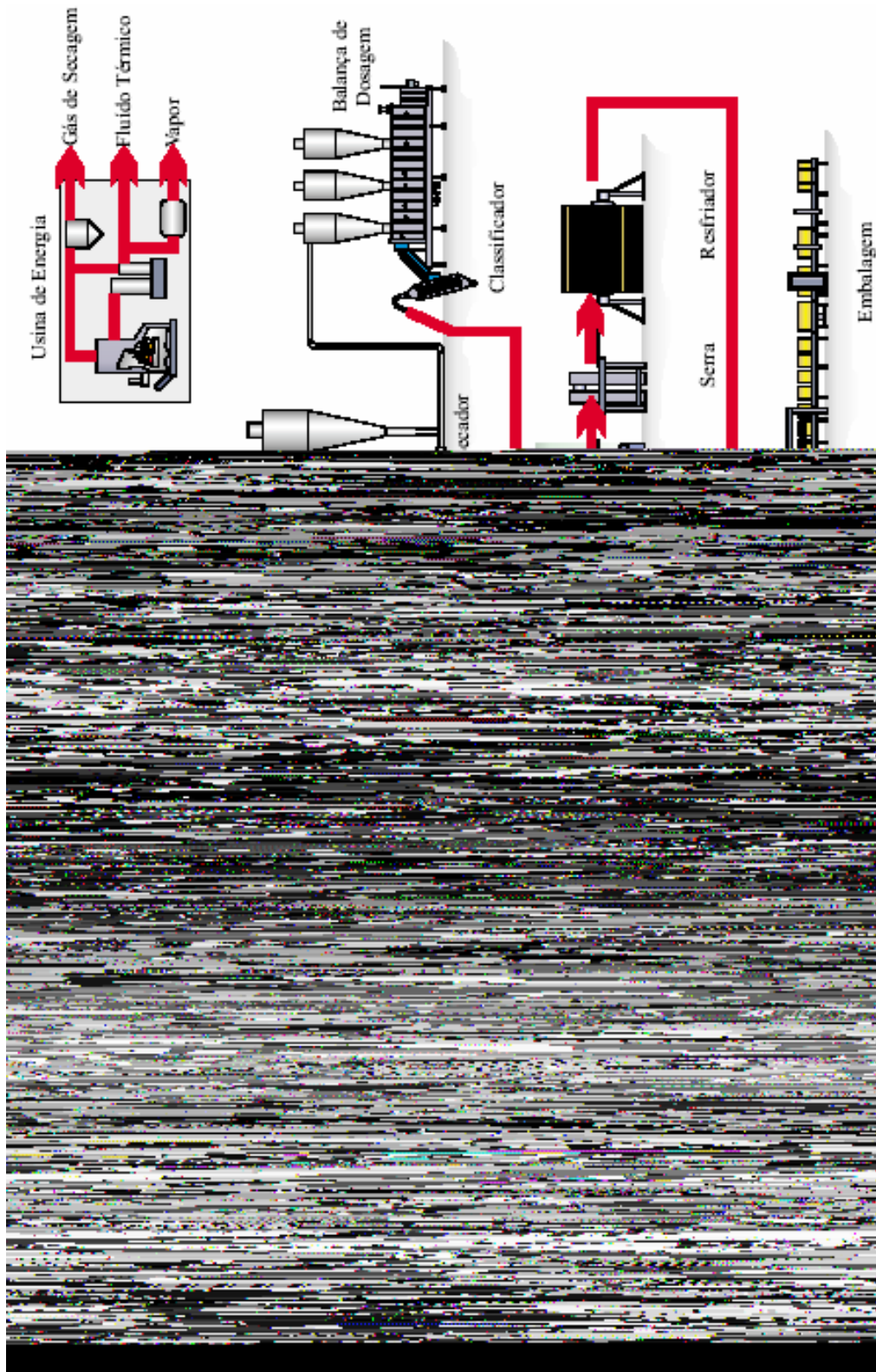


Figura 7.18 – Diagrama do processo de produção de MDF (Placas do Paraná, 2005).



## 8.0 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 8.1 - Materiais

#### 8.1.1 - Resíduo de madeira

Para a fabricação do compósito em estudo, foram utilizados resíduos de marcenaria como material de reforço. Os resíduos utilizados consistiam em pó e serragem de madeira, capturados pelo sistema central de coleta de pó da marcenaria Arteira Country Classics. A figura 8.1 mostra o coletor de pó da Arteira.



Figura 8.1 – Coletor de pó com motor elétrico de 25cv.

A Arteira Country Classics é uma marcenaria localizada na grande São Paulo, especializada na fabricação de móveis sob encomenda, esquadrias de madeira, revestimentos de parede, rodapés, etc.

Para a fabricação destes produtos, são beneficiados vários tipos de matéria prima. As principais matérias primas utilizadas pela Arteira são chapas de MDF, chapas de compensado e madeira maciça. Portanto os resíduos coletados possuem estes três tipos de materiais.

Também são utilizadas várias máquinas no processo. Como se explicou no Capítulo 5 - Resíduos de Madeira, cada etapa do processo produtivo irá gerar um tipo de resíduo. Estes resíduos diferem um do outro em função da granulometria.

Na Arteira, todos os resíduos gerados nas máquinas convergem para o sistema central de coleta de pó, onde se misturam e ficam armazenados em filtros de lona.

Em relação aos resíduos utilizados nos experimentos, não houve grande preocupação quanto ao levantamento da proporção de cada tipo de resíduo, visto que esta proporção é variável no decorrer do tempo, e o compósito proposto deve ser exequível com qualquer tipo de resíduo de madeira.



Figura 8.2 – Resíduo utilizado na fabricação das amostras de compósito.

Os resíduos utilizados consistiam em uma mistura de pó de MDF proveniente de corte e fresagem, serragem de cedro proveniente de corte e fresagem, e pó de cedro proveniente de lixamento. Uma amostra deste resíduo pode ser vista na figura 8.2.

Após a retirada dos filtros dos coletores de pó, os resíduos foram acondicionados em tambores metálicos de duzentos litros. Os tambores, quando cheios, foram tampados para evitar a absorção, ou perda da umidade da fibra. Foi importante manter constante o teor de umidade, pois as amostras de compósito foram prensadas em dias diferentes.

### 8.1.2 - Resina



Figura 8.3 – Balde de Cascamite 10kg.

Atendendo à condição de que a resina utilizada como matriz deveria ser barata, facilmente disponível no mercado, e já conhecida pelos marceneiros, foi adotada a resina uréia formaldeído. No varejo ela é encontrada com o nome Cascamite 5H, e é fabricada pela Borden Química, com distribuição pela Alba Química.

Ela é vendida na forma líquida, em baldes de 5kg, 10kg e 20kg. A figura 8.3 apresenta

o balde de 10kg, que continha a resina utilizada no experimento.

A tabela 8.1 apresenta as principais propriedades da Cascamite 5H (BORDEN QUÍMICA, 2000):

Tabela 8.1 - Propriedades da Cascamite 5H.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Aspecto	Líquido branco leitoso
Teor de sólidos (0,5g/3h/105°C)	64% a 66%
Viscosidade Brook LVF 2/30 – 25°C, cP	400 – 1000
Ph a 25°C	7,4 a 7,8
Massa específica (g/ml)	1,28 a 1,30

### 8.1.3 - Extensor

No boletim técnico da Cascamite é recomendada a adição de um extensor na preparação da resina. Normalmente, o extensor utilizado pela indústria moveleira e marcenarias é a farinha de trigo.

O extensor é adicionado à resina por dois motivos de ordem técnica.

O primeiro motivo é permitir um aumento da viscosidade da resina, o qual restringe a penetração da resina entre as fibras da folha de madeira na colagem em chapas de compensado ou MDF (Andrade, 2005). Este motivo perde efeito, já que neste estudo a resina não foi utilizada colar de folhas de madeira, e, além disso, o aumento da viscosidade prejudicaria a aplicação da resina através de aspensão, método de aplicação da resina escolhido.

O segundo motivo de ordem técnica é atuar como elemento plastificante. A resina uréia formol, quando curada, vitrifica, se tornando muito dura e quebradiça. O extensor diminui o efeito da vitrificação, deixando-a menos quebradiça. O pó proveniente de lixamento presente no resíduo assumiu o papel de elemento plastificante, já que possui granulometria pequena, substituindo a farinha de trigo.

Deste modo foi desconsiderada a utilização de extensor na resina.

## 8.2 - Métodos

Para a determinação dos procedimentos adequados para o preparo do compósito desejado, levou-se em conta a condição de se utilizar equipamentos normalmente encontrados em marcenarias, ou de baixo investimento para aquisição.

### 8.2.1 – Determinação do teor de umidade dos resíduos de madeira

Para a determinação do teor de umidade do pó de madeira base úmida, foram coletadas seis amostras de resíduo de madeira. Após pesagem, as amostras foram secas em estufa a 120°C. O período de aquecimento foi de duas horas. A massa de cada uma das amostras foi novamente medida. Para comprovar que as amostras já estavam secas, as mesmas foram recolocadas na estufa por mais uma hora. As massas das amostras foram novamente medidas. Como as massas das amostras permaneceram constantes, quer dizer que as amostras já se encontravam secas. Caso contrário, as amostras seriam submetidas a mais um ciclo de secagem.

Por subtração foram obtidas as massas de umidade perdida em cada uma das amostras (BROWNING, 1967). O teor de umidade do pó de madeira base úmida pode ser calculada para cada uma das amostras pela seguinte fórmula :

$$u = \frac{Mu \times 100}{Mbu}$$

Onde :

u = teor de umidade da madeira, base úmida (%)

Mu = massa de umidade perdida na secagem (g)

Mbu = massa de madeira úmida (g)

Tirando-se a média do teor de umidade base úmida das seis amostras, foi obtido o valor a ser considerado na fórmula do cálculo da quantidade de resina.

A tabela 8.2, abaixo, apresenta as massas medidas antes e depois do término da secagem, bem como o resultado obtido no cálculo do teor de umidade.

Tabela 8.2 – Dados obtidos no cálculo do teor de umidade

<b>Amostras</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Tara do vidro de relógio (g)</b>	32,74	50,07	60,75	61,15	61,35	72,17
<b>Tara do vidro de relógio + resíduo de madeira (g)</b>	39,03	60,62	71,38	71,30	71,84	83,58
<b>Tara do vidro de relógio + resíduo de madeira após secagem (g)</b>	38,34	59,38	70,14	70,12	70,62	82,20
<b>Massa do resíduo de madeira úmido (g)</b>	6,29	10,55	10,63	10,15	10,49	11,41
<b>Massa do resíduo de madeira seco (g)</b>	5,60	9,31	9,39	8,97	9,27	10,03
<b>Massa de umidade (g)</b>	0,69	1,24	1,24	1,18	1,22	1,38
<b>% da umidade</b>	10,97%	11,75%	11,67%	11,63%	11,63%	12,09%
<b>% média de umidade</b>	<b>11,62%</b>					

### 8.2.2 - Determinação da quantidade de resina

O custo da resina é um dos fatores que mais influenciam no custo final do compósito. Para que o compósito possua um preço final competitivo, o teor de resina deve ser minimizado, de tal modo que não comprometa significativamente a sua resistência mecânica.

A indústria de chapas de madeira reconstituída já efetuou profundos estudos para a determinação do teor de resina ótimo a ser utilizado em seus processos. Tendo como base os processos de produção de chapas de MDF e aglomerados, foi adotado o teor de 12% de sólidos da resina em relação à massa de madeira seca, por ser o teor mais utilizado.

A massa de resina pode ser calculada pela fórmula abaixo :

$$MR = \frac{MS \times (1 - (u \times 0,01)) \times (TR \times 0,01)}{(TRS \times 0,01)}$$

Onde :

MR = massa de resina (g)

MS = massa de madeira (g)

u = teor de umidade da madeira, base úmida (%)

TR = teor de resina desejado (%)

TRS = teor de sólidos na resina (%)

O teor de sólidos da resina foi obtido junto à assistência técnica da Alba Química (CAMPOS, 2005), através da identificação do lote de fabricação. A Cascamite utilizada pertencia ao lote L5160, que possuía teor de 65% de sólidos.

Portanto, para uma massa de 2.100g de pó de madeira com teor de umidade de

11,62%, desejando-se aplicar 12% em massa de sólidos de resina em relação de massa de madeira seca, sendo que a resina possui um teor de sólidos de 65%, a massa de resina aplicada foi de 342,64g, conforme cálculo apresentado abaixo.

$$MR = \frac{2.100 \times (1 - 0,1162) \times 0,12}{0,65} = 342,64g$$

### **8.2.3 - Determinação da quantidade de água**

A água é utilizada como diluente da resina. A diluição facilita a aplicação da resina nas fibras através de aspersão, possibilitando uma distribuição homogênea. De acordo com o boletim técnico da resina Cascamite (Alba Adesivos, 2000), a diluição com água deve ser entre 20% e 50% em massa de resina.

Em experimentos exploratórios executados inicialmente, com o objetivo de facilitar ao máximo a aspersão, foi utilizado o teor máximo de diluição, ou seja, 50% em massa. Porém, no processo de aceleração de cura incentivado por microondas ocorreram problemas em consequência da grande quantidade de água remanescente no compósito após a prensagem. Após trinta segundos de aplicação de microondas, gerou-se grande quantidade de vapor, que criou uma forte pressão na parte interna da peça causando inchamento da mesma, alterando suas dimensões externas, formando bolhas superficiais e trincas internas.

Para evitar este problema foi adotada a diluição de 25% em massa da resina. Para este teor de diluição, o problema de formação de vapor desapareceu, sem prejudicar a aspersão da resina.

### **8.2.4 - Determinação da quantidade de catalizador**

O boletim técnico da resina Cascamite (Alba Adesivos, 2000) determina que seja utilizado um teor de catalizador tipo M3 de 5% a 10% em massa de resina. Em prensagens a quente, genericamente, utiliza-se o teor de catalizador de 5%. Para este trabalho foi adotado um teor de 6% em massa de resina, teor usualmente utilizado na preparação da resina para colagem de folhas de madeira na Arteira Country Classics.

### **8.2.5 - Aplicação de resina na fibra**

O fator mais importante nesta etapa do processo é a aplicação homogênea da resina

nos resíduos de madeira, sem a formação de pelotas.

Inicialmente, tentou-se a utilização de uma bateadeira. Este processo não se mostrou viável, pois a mistura só se tornava homogênea com a adição de grande quantidade de solução de resina.

No processo de fabricação de MDF, normalmente, se utiliza a aspersão para a aplicação da resina. Esta aspersão é realizada dentro de uma tubulação de transporte pneumático. O desenvolvimento deste equipamento para aspersão demonstrou ser economicamente inviável.

Seguindo o exemplo da indústria farmacêutica, adotou-se o processo de aspersão como nas drageadeiras.

Na indisponibilidade de uma drageadeira, optou-se por uma betoneira. Além do movimento rotatório, as betoneiras possuem pás no seu interior que ajudam a homogeneização da mistura das fibras com a resina.

Para a aplicação da solução de resina foi utilizada uma pistola de pintura com caneca superior do Compactkit de pintura Schulz. Esta pistola de pintura vem como acessório na compra do mini-compressor Twister da Schulz.



Figura 8.4 – Detalhe da aplicação da resina através de orifício na tampa instalada na betoneira.



Para evitar a perda de material, foi adaptada uma tampa para fechar a boca da betoneira. Nesta tampa foi feito um orifício para a aplicação da resina, como pode ser visto na figura 8.4. Com eixo de rotação na posição horizontal e com ajuda das pás e da força centrífuga, o resíduo de madeira gira dentro da betoneira, caindo por gravidade, quando atinge um certo ponto. O jato de resina é direcionado para este resíduo de madeira na descendente, como pode ser visto na figura 8.5. O grande fluxo de ar formado dentro da betoneira cria uma turbulência que também contribui na homogeneização da mistura.

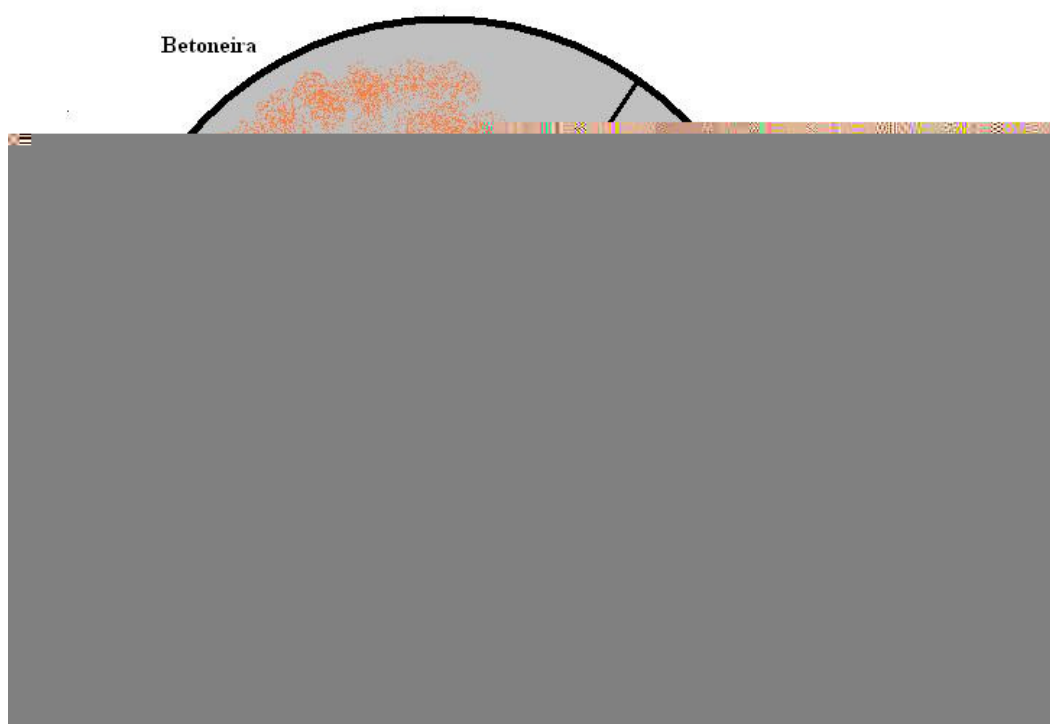


Figura 8.5 – Representação gráfica da aplicação da resina.

### 8.2.6 – Determinação da técnica de enchimento do molde

Inicialmente o molde era composto por uma base de compensado de 3 mm coberta com uma lâmina melamínica de 1 mm de espessura servindo de desmoldante, com limitadores laterais em compensado de 12 mm, e uma tampa de chapa de alumínio de 1mm, como pode ser visto na figura 8.6. A medida interna do molde era de 270 x 900 x 12 mm.

A cada prensagem foi colocada no molde cerca de 2.580g de fibra de madeira misturada com resina, anotando-se o seu valor exato. A distribuição da massa no molde foi realizada manualmente, como pode ser visto na figura 8.7. Cada chapa produzida de compósito permitiu o corte de até oito corpos de prova.



Figura 8.6 – Molde em compensado e tampa em chapa de alumínio.

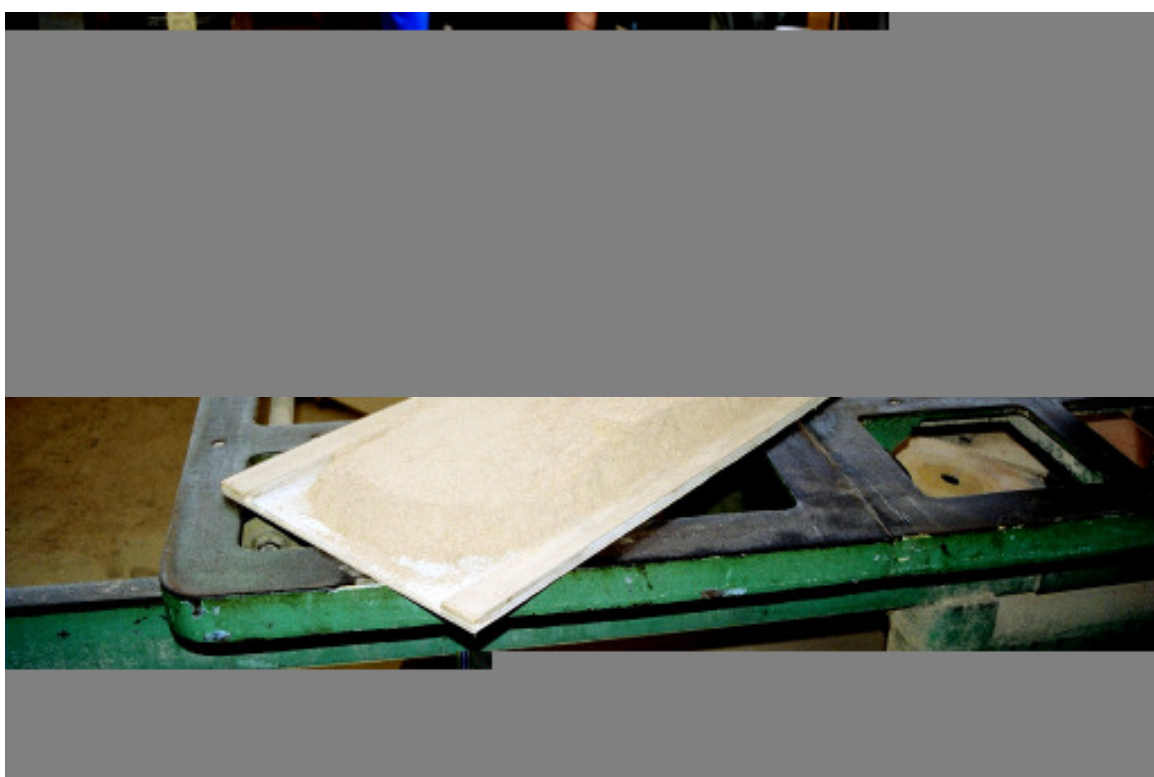


Figura 8.7 – Fibra de madeira distribuída manualmente no molde.

Na terceira prensagem, percebeu-se que o molde de compensado se deformava devido

à grande pressão aplicada pela prensa. Para resolver o problema de deformação, o molde de compensado foi substituído por outro de mesmas dimensões, porém com limitadores em perfil de aço e fundo em chapa de aço, conforme figura 8.8. A tampa de alumínio e o laminado melamínico utilizados no molde de compensado foram aproveitados no molde de chapa de aço.



Figura 8.8 – Moldes em chapa de aço.

Devido ao peso dos limitadores laterais, agora em aço, foi necessário o fechamento completo do quadro, para que não ocorresse a deformação do fundo em chapa durante o manuseio do molde.

Com o fechamento do quadro, o vapor formado durante a prensagem não tinha por onde escapar. Quando a prensa era aberta, o compósito formado se estufava e rachava em função do vapor preso.

Para resolver este problema, através de um esmeril, foram feitos canais para escape do vapor no quadro formado pelos limitadores, como pode ser visto nas figuras 8.9 e 8.10.



Figura 8.9 – Corte dos limitadores laterais para a formação dos canais de escape de vapor.

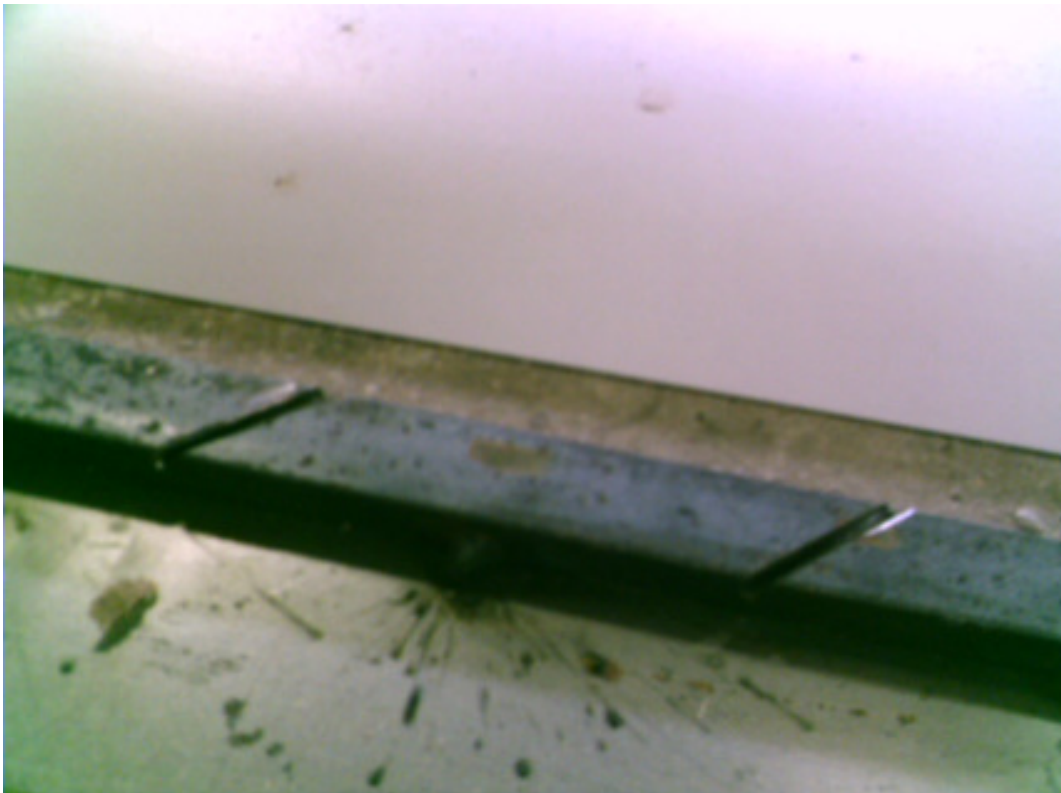


Figura 8.10 – Detalhe dos canais de escape de vapor.

### 8.2.7 - Determinação da temperatura de prensagem

Normalmente, a prensagem a quente, utilizando-se resina uréia formaldeído para a fabricação de chapas de compensado é feita a temperaturas de 90°C a 100°C (Meyer, 1979). Foi experimentada a prensagem com temperatura de 100°C.

Devido a esta temperatura e ao tempo de prensagem houve a formação de grande quantidade de vapor dentro do compósito. Quando a prensa foi aberta o vapor escapou, provocando várias rachaduras no mesmo.

Para resolver este problema, foi adotada a temperatura de 80°C, temperatura geralmente utilizada para a colagem de folhas de madeira. Outro motivo da adoção desta temperatura é, que em experimentos exploratórios de aquecimento de Cascamite com microondas, se observou a ebulição do sistema em temperaturas superiores a 84°C.

### 8.2.8 - Determinação do tempo de prensagem

Conforme o boletim técnico da Cascamite, para a colagem de folhas de madeira adota-se a seguinte fórmula :

$$\text{Tempo} = E \times 2 + 3$$

Onde :

Tempo = tempo mínimo de prensagem (min)

E = espessura existente até a mais profunda linha de colagem (mm)

Sendo E = 12 mm, espessura interna da forma, o tempo mínimo de prensagem é de vinte e sete minutos. Porém, nos experimentos exploratórios, as peças formadas no molde apresentaram uma espessura variando de 12 a 13 mm. Então por garantia foi adotado um tempo de prensagem de trinta minutos.

### 8.2.9 - Prensagem

Para a prensagem foi utilizada uma prensa termo-hidráulica de quatro pratos da marca Invicta, conforme figura 8.11. Para cada prensagem foram utilizados dois moldes

acondicionados no eixo dos cilindros para evitar o empenamento dos pratos da prensa. A figura 8.12 apresenta um molde acondicionado em um dos pratos da prensa.

Normalmente, na fabricação de chapas como a de MDF existe um ciclo de prensagem, onde a pressão varia em função do tempo. Devido à dificuldade de se ter um controle do ciclo de pressão foi adotada uma pressão constante.

A pressão utilizada foi a necessária para o fechamento total do molde, encostando a tampa de alumínio nos limitadores laterais. Nos experimentos verificou-se que a pressão aplicada na peça foi de aproximadamente  $240 \text{ N/cm}^2$ . Este valor foi calculado a partir do manômetro e do diagrama de pressão da prensa, apresentados na figura 8.13. Observe que este valor de pressão está dentro da faixa de pressão utilizada na fabricação de chapas de MDF, que varia de  $200 \text{ N/cm}^2$  e  $300 \text{ N/cm}^2$ .



Figura 8.11 – Prensa Invicta utilizada.



Figura 8.12 – Molde posicionado no prato da prensa, antes do início da prensagem.

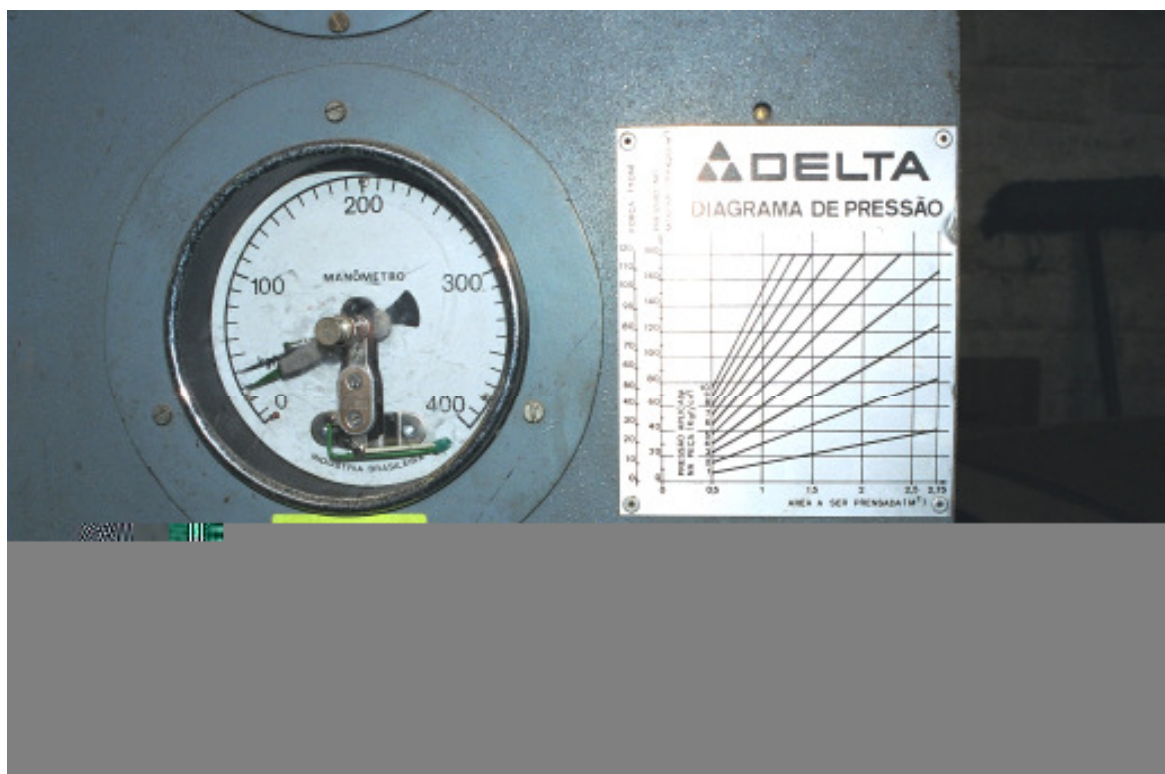


Figura 8.13 – Manômetro e diagrama de pressão da prensa.

### 8.2.10 - Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova para o teste mecânico foram preparados com dimensões de aproximadamente 300 mm de comprimento, 40 mm de largura e 9 mm de espessura.

Após a saída da prensa, as chapas de compósito foram desmoldadas, conforme figura 8.14.



Figura 8.14 – Compósito após a saída do molde.

No sentido do comprimento, as chapas foram cortadas em duas partes de mesma largura. Regulou-se a serra esquadrejadeira para executar cortes de 40mm. A partir do lado, que sofreu o corte inicial, foram executados cortes no sentido do comprimento, obtendo-se assim um total de quatro peças com 40 mm de largura, aproximadamente 850 mm de comprimento, e, aproximadamente, 13 mm de espessura, como pode ser visto na figura 8.15.





Figura 8.15 – Corte no sentido do comprimento com largura de 40mm.

Como as peças cortadas possuíam espessura maior que 9mm, foi utilizada a plaina desgrossadeira para reduzir a espessura, desbastando por volta de 1 mm por passada, até atingir os 9 mm de espessura, conforme figura 8.16.



Figura 8.16 – Utilização da plaina desgrossadeira para redução da espessura para 9mm.

Em seguida estas peças foram cortadas ao meio, no sentido da largura, obtendo-se oito peças. Para cada uma destas peças, a partir do último corte, foi medido 300 mm, onde se executou outro corte no sentido da largura, obtendo-se assim os oito corpos de prova, conforme pode ser visto nas figuras 8.17 e 8.18.



Figura 8.17 – Corte ao meio das peças de 40mm de largura.



Figura 8.18 – Corte final, ajustando o comprimento para 300mm.

Após os cortes, os corpos de prova já estavam na temperatura ambiente. Como foram utilizados dois moldes por prensada, obtiveram-se no total dezesseis corpos de prova por prensada. Dos dezesseis corpos de prova, oito eram separados para o teste mecânico, e os outros oito corpos de prova eram submetidos ao campo de microondas. Alguns corpos de prova também foram separados após a prensagem, para a execução de teste mecânico após um período de quarentena.

### 8.2.11 - Aplicação de microondas



Figura 8.19 – Microondas doméstico utilizado.

Para a aplicação das microondas, foi utilizado um forno de microondas doméstico de 700W de potência e frequência de 2,45GHz, apresentado na figura 8.19. A aplicação de microondas e a execução do teste mecânico nos corpos de prova devem ser feitas logo após a prensagem, para permitir a comparação entre os corpos de prova expostos e não expostos às microondas.

A impossibilidade de levar a prensa para o laboratório devido ao seu tamanho e peso, ou a de levar a cavidade de microondas de 1 m<sup>3</sup> do laboratório para a Arteira, por motivos de

segurança, nos obrigaram a adotar o forno doméstico, apesar do campo de microondas neste forno não ser homogêneo.

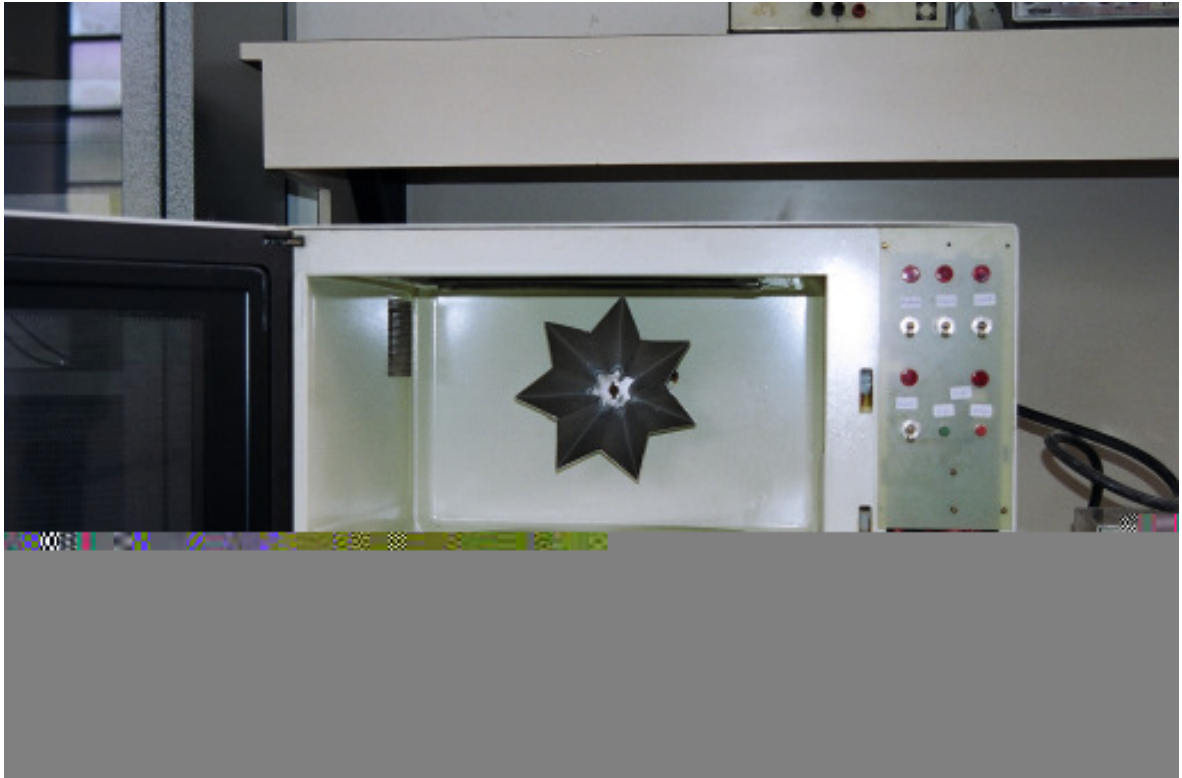


Figura 8.20 – Visão do misturador de modos na parte interna do forno de microondas.



Figura 8.21 – Misturador de modos.



Figura 8.22 – Motor elétrico para rotação do misturador de modos.

Para melhorar a distribuição do campo de microondas dentro do forno, foi utilizado um misturador de modos em alumínio, como pode ser visto nas figuras 8.20 e 8.21. Para permitir a rotação do misturador de modos, foi fixado um motor elétrico na parte traseira do forno de microondas, conforme visto na figura 8.22.

Para a determinação do tempo de exposição, alguns corpos de prova foram submetidos, um a um, ao campo de microondas até o início do processo de pirólise, facilmente identificável, primeiramente pelo odor de madeira queimada, e em seguida pelo aparecimento de pontos de carbonização. A intenção era deixar o corpo de prova o maior tempo possível exposto ao campo de microondas, antes do início da sua carbonização. A pirólise se iniciou, na média, a partir de dois minutos de exposição. Para ter uma margem de

O corpo de prova deve ter o comprimento de pelo menos vinte vezes o valor de sua espessura mais cinquenta milímetros.

A largura do corpo de prova é medida na metade do comprimento, e sua espessura no cruzamento das diagonais.

O corpo de prova é apoiado em suportes redondos com diâmetro de 25mm com distância entre eixos igual a vinte vezes a espessura da peça.

A carga é aplicada por um cutelo com 30 mm de diâmetro. A carga é aumentada até o rompimento do corpo de prova, conforme figura 8.23.

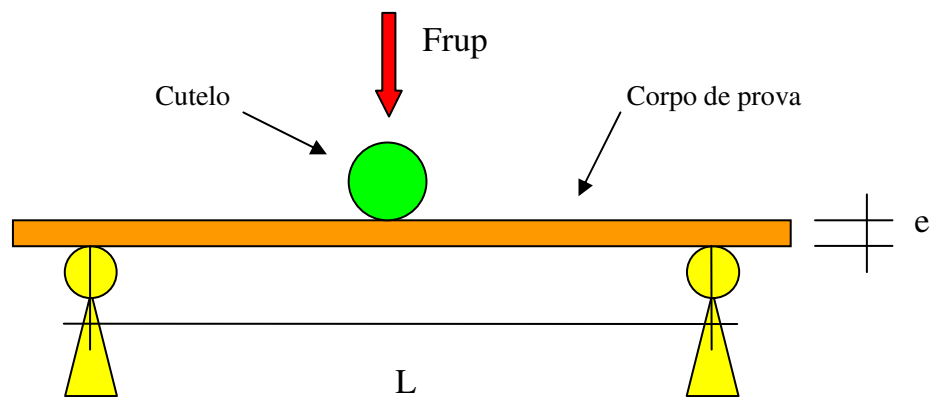


Figura 8.23 - Esquema do dispositivo padrão para o teste mecânico.

O módulo de resistência à ruptura na flexão é obtido pela seguinte fórmula :

$$\text{MOR} = \frac{(3 \times \text{Prup} \times g \times L)}{(2 \times B \times e^2)}$$

Onde :

MOR = módulo de resistência à ruptura na flexão (N/cm<sup>2</sup>)

Prup = carga na ruptura (kg)

g = aceleração da gravidade – foi adotado um valor de 9,8 m/s<sup>2</sup>

L = distância entre eixos dos suportes (cm)

B = largura do corpo de prova (cm)

e = espessura do corpo de prova (cm)

Como parte dos corpos de prova devem ser testados logo após a saída da prensa, e outra parte logo após a saída do forno de microondas, e a Arteira não possui uma máquina universal de ensaios, foi desenvolvido um dispositivo que procurasse atender à Norma EN 310 para a execução dos testes.



Figura 8.24 – Dispositivo utilizado para o teste mecânico.

O dispositivo é composto por um cavalete possuindo uma placa de MDF fixada na vertical, conforme visto na figura 8.24. Nesta placa foram fixados dois parafusos com pescoço liso e diâmetro de 25mm, servindo de apoio para o corpo de prova, conforme figura 8.25 e 8.26. A distância entre eixos dos apoios é de 20 cm, medida com régua com precisão de 1 mm. A carga foi aplicada aos corpos de prova através de um tubo de 30mm de diâmetro, por onde passa uma corrente que sustenta um balde metálico. No balde, foi adicionada massa até o rompimento do corpo de prova. Com o rompimento do corpo de prova, a massa do balde juntamente com a massa da carga adicionada foi medida em uma balança com capacidade de cento e cinquenta quilogramas e precisão de cento e cinquenta gramas.



Figura 8.25 – Detalhe dos apoios do dispositivo para teste mecânico.

Durante o resfriamento dos corpos de prova expostos às microondas, foram realizados os ensaios dos corpos de prova que não foram expostos. Terminados os ensaios dos corpos de prova que não foram expostos às microondas, os corpos que foram expostos às microondas já estavam na temperatura ambiente, prontos para os ensaios. Os corpos de prova separados para a quarentena, ficaram estocados por um período de quinze dias, tempo suficiente para a cura



final da resina, para em seguida serem testados.

De posse dos valores das cargas de ruptura dos corpos de prova, calcularam-se os seus respectivos módulos de resistência à ruptura na flexão.



Figura 8.26 – Vista frontal dos apoios.

A divisão dos corpos de prova para compor os três universos, para os testes mecânicos, foi feita através de seleção aleatória sem restrição. Este procedimento visou a evitar amostras viciadas, pois os corpos de prova apresentaram densidades diferentes entre si. Dentre os universos estudados, aquele que possui maior quantidade de corpos de prova de maior densidade, é de se esperar melhores resultados nas características mecânicas, em

relação aos outros universos.

Quando duas chapas fabricadas em uma batelada permitiram a fabricação de dez corpos de prova, quatro foram sorteados para o teste mecânico após a prensagem, quatro foram sorteados para o teste mecânico após a exposição ao campo de microondas, e dois corpos de prova foram sorteados para o teste mecânico após a quarentena. Quando duas chapas fabricadas em uma batelada permitiram a fabricação de doze corpos de prova, cinco foram sorteados para o teste mecânico após a prensagem, cinco foram sorteados para o teste mecânico após a exposição ao campo de microondas, e dois corpos de prova foram sorteados para o teste mecânico após a quarentena. E quando duas chapas fabricadas em uma batelada permitiram a fabricação de dezesseis corpos de prova, seis foram sorteados para o teste mecânico após a prensagem, seis foram sorteados para o teste mecânico após a exposição ao campo de microondas, e quatro corpos de prova foram sorteados para o teste mecânico após a quarentena.

### **8.2.13 - Determinação de densidade dos corpos de prova**

Após os testes mecânicos, todos os pedaços dos corpos de prova foram cortados para se eliminar o pedaço irregular, onde houve a quebra do corpo de prova.

Através de uma balança de precisão de 0,01g, foi obtida a massa de cada uma das metades cortadas dos corpos de prova, conforme figura 8.27. Foram medidas as dimensões dos corpos de prova com um paquímetro de precisão de 0,05mm.

A densidade dos corpos de prova foi calculada através da seguinte fórmula :

$$\rho = \frac{m}{(C \times E \times L)}$$

Onde :

$\rho$  = densidade (kg/m<sup>3</sup>)

m = massa (kg)

C = comprimento (m)

E = espessura (m)

L = largura (m)



Figura 8.27 - Balança para determinação da massa dos corpos de prova.

#### **8.2.14 – Determinação do intervalo de confiança para a média o módulo de ruptura.**

Nem sempre é possível conhecer o valor verdadeiro da média de uma população. Porém se colhermos uma amostra representativa da população, ou seja, uma amostra que possua comportamento estatístico semelhante ao da população, sua média será próxima ao valor da média da população. Através da ferramenta estatística de estimação da média, é possível determinar o intervalo que contenha o valor real da média da população em torno da média da amostra com um grau de confiança conhecido. Este intervalo é chamado de intervalo de confiança.

A média da população levando em conta o intervalo de confiança é estimada pela fórmula :

$$\mu = M \pm t_x \times (s / (n)^{0,5})$$

Onde :

$\mu$  = média da população estimada levando em conta o intervalo de confiança.

M = média amostral.

$t_x$  = valor da função estatística “Distribuição t”, tirado de uma tabela, onde a leitura é realizada entrando-se com o grau de liberdade (n-1) e a probabilidade de erro  $\alpha$ .

s = desvio padrão da amostra.

n = número de dados da amostra.

Foram calculados os intervalos de confiança com os níveis de confiança de 90%, considerado de significância insipiente, 95%, considerado significativo, 99%, considerado altamente significativo, e 99,9%, considerado certeza estatística.

A população, a qual foi estimado o intervalo de confiança que contenha a sua média, é restrita ao intervalo de densidades obtidas nos testes mecânicos.

### **8.2.15 – Determinação das curvas MOR x densidade**

Com o objetivo de se comparar o comportamento dos módulos de ruptura na flexão em função das densidades para os três tipos de tratamento aplicados aos corpos de prova, foram determinados por regressão com auxílio do programa “*Microsoft Excel*”, os modelos das curvas de MOR x Densidade para os corpos de prova testados após a prensagem, para os corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas, e para os corpos de prova testados após o período de quarentena.

A análise de regressão é uma técnica estatística, que consiste em se determinar um modelo para descrever a relação entre uma variável dependente, e uma ou mais variáveis independentes (Schneiderman et al, 2003).

Também foram determinados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para cada um dos modelos. O coeficiente de determinação é um indicador, que mede a correspondência do modelo determinado pela análise de regressão e os dados reais. Os valores deste indicador vão de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente, maior a correspondência entre o modelo e os valores reais.

De posse das funções obtidas pela regressão, executou-se uma tabela com os valores de MOR calculados em função das densidades. Pela tabela construiu-se um gráfico possuindo as curvas dos corpos de prova expostos e não expostos às microondas, bem como dos corpos submetidos à quarentena. Para que as curvas fossem válidas, os dados foram calculados dentro do intervalo de densidades obtidas no estudo.

Através do gráfico composto pelos dados obtidos pela regressão, foi possível comparar para um mesmo valor de densidade, os valores de MOR dos corpos de prova expostos, e não exposto às microondas, comprovando a contribuição das microondas na cura da resina.

### **8.2.16 - ANOVA – Análise de variâncias**

Para a comprovação efetiva da diferença entre os resultados de MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa, em relação aos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas, e em relação aos corpos de prova testados após a quarentena, utilizou-se a ferramenta estatística ANOVA - análise da variância.

A análise de variância é uma ferramenta estatística desenvolvida para testar se duas, ou mais populações possuem diferenças significativas entre suas médias. Mais especificamente, a ANOVA serve para determinar se um tratamento específico, aplicado a um dos universos estudados, irá causar um impacto significativo da variável em estudo (Webster, 1995).

A ANOVA é uma técnica robusta e, portanto, pouco afetada por afastamentos, até apreciáveis, da hipótese da base.

#### **8.2.16.1 – Teoria da ANOVA**

A variância total que existe entre os universos estudados possui duas componentes.

A primeira parcela é a variância causada por flutuações aleatórias, decorrentes do azar, imprecisões das medidas efetuadas, ou outros fatores. Esta variância influencia todos os universos em estudo. Um exemplo é a variação da densidade, que ocorre nos três universos deste trabalho. Esta primeira parcela é chamada de resto.

A segunda parcela da variância total é a variância existente entre cada um dos universos estudados. Ela é influenciada pela quantidade ou tipo de tratamento dado a cada um dos universos. Ao contrário da primeira parcela, esta variância é decorrente de efeitos próprios de cada inverso. Neste trabalho, os tratamentos realizados são: a exposição ao campo de microondas logo após a prensagem e a exposição ao período de quarentena.

A ANOVA mede a proporção entre a variância entre os universos estudados e a variância causada por flutuações aleatórias. Se existir uma diferença grande entre estas duas variâncias, quer dizer que o tratamento teve um resultado efetivo.

Para a análise se aplica o teste “F”, utilizando-se a “Distribuição de Snedecor”,

também conhecida por “Distribuição F”. O valor “F” calculado é dado pela razão entre a variância entre os universos, e a variância causada pelas flutuações aleatórias. Caso o número “F” calculado seja superior ao valor “Fcrítico” tabelado, existe diferença entre as médias, provando que houve a influência do tratamento, com um determinado grau de confiança.

#### **8.2.16.2 – Aplicação da ANOVA**

Para a comparação das amostras dos três universos, admitiu-se que possuíam distribuições e dispersões análogas, pois as amostras foram feitas em paralelo, com a mesma massa de compósito, pelo mesmo operador, mesma betoneira, mesmo molde, e mesma prensa. Portanto a diferença entre os três universos, em uma análise de variância, poderá ser atribuída ao tratamento: a irradiação por microondas, ou o período de quarentena.

Para as análises foi adotado um valor “ $\alpha$ ” de 0,001, ou seja, um grau de confiança de 99,9%, considerado certeza estatística.

## 9.0 - RESULTADOS

### 9.1 – Eventos observados nos experimentos

Na produção dos corpos de prova foram utilizados dois moldes a cada batelada, posicionados cada um na direção dos eixos da prensa, para evitar o empenamento dos pratos. Conforme a qualidade das bordas das chapas de compósito produzidas, foi possível o corte de 5 a 8 corpos de prova por chapa, ou seja, 10 a 16 corpos de prova por prensagem.

Inicialmente, foram produzidas quatro bateladas de corpos de prova com o objetivo de determinar o teor de água utilizado na resina, a temperatura de prensagem, a técnica de enchimento do molde, o tempo de exposição ao campo de microondas, e a técnica de realização do teste mecânico.

Tendo sido estabelecida a técnica de produção dos compósitos, foram fabricados dois moldes novos. Iniciou-se, então, nova série de prensagens com a produção dos corpos de prova para a execução dos testes de ruptura.

Na terceira batelada produzida, percebeu-se a ocorrência de uma deformação na parte central do fundo dos moldes. Os fundos em compensado apresentaram um afundamento na região central. O afundamento foi causado pela pressão localizada, decorrente da maior quantidade de fibra de madeira depositada no centro do molde. Para a eliminação deste problema, os moldes de compensado foram substituídos por outros com fundo em chapa de aço. As chapas de compósito produzidas na terceira batelada foram descartadas.

Para o teste de ruptura na flexão foram produzidos no total 138 corpos de prova através de dez bateladas. Das dez bateladas, em cinco bateladas foram obtidos oito corpos de prova por chapa, em quatro bateladas foram obtidos seis corpos de prova por chapa, e em uma batelada foram obtidos cinco corpos de prova por chapa. Do total de 138 corpos de prova, 54 corpos de prova foram testados após a prensagem, 54 corpos de prova foram testados após a exposição ao campo de microondas, e 30 corpos de prova foram testados após um período de quarentena de 15 dias.

Como os moldes foram preenchidos manualmente, não se conseguiu um preenchimento totalmente homogêneo, o que resultou em uma variação de densidade entre os corpos de prova. As densidades variaram entre 850 e 1.200 kg/m<sup>3</sup>. Outro fator que contribuiu para a variação da densidade dos corpos de prova foi a necessidade de se concentrar a maior parte do pó no centro do molde, para que durante o fechamento dos pratos da prensa, o pó não caísse para fora do molde por derramamento.

Para comprovar a contribuição do campo de microondas na cura da resina, foi efetuada a comparação entre os valores de MOR do universo dos corpos de prova testados mecanicamente logo após a saída da prensa, do universo dos corpos de prova testados após a irradiação por campo de microondas, e dos corpos de prova testados após o período de quarentena.

## 9.2 – Corpos de prova testados após a prensagem

A tabela 9.1, abaixo, apresenta as dimensões dos corpos de prova, a massa de ruptura (Prup) aplicada a cada corpo de prova no teste mecânico realizado logo após a prensagem, e os módulos de ruptura na flexão e densidades calculadas através das fórmulas apresentadas no Capítulo 8 – Materiais e Métodos.

Para exemplificar, segue abaixo o cálculo do módulo de ruptura na flexão do corpo de prova SM1 :

$$\text{MOR} = ( 3 \times \text{Prup} \times g \times L ) / ( 2 \times B \times e^2 )$$

$$\text{MOR} = ( 3 \times 17,60 \times 9,8 \times 20 ) / ( 2 \times 3,925 \times 0,84^2 ) = 1868,37 \text{ N/cm}^2$$

Tabela 9.1 – Dados dos corpos de prova testados após a prensagem.

Peça	L (cm)	B (cm)	e (cm)	Prup (kg)	MOR (N/cm <sup>2</sup> )	ρ (kg/m <sup>3</sup> )
SM1	20,00	3,925	0,840	17,60	1868,37	1164,81
SM2	20,00	3,945	0,855	18,50	1885,99	1145,56
SM3	20,00	3,965	0,860	18,10	1814,62	1182,76
SM4	20,00	3,875	0,850	17,90	1879,71	1189,91
SM5	20,00	4,010	0,880	10,90	1031,96	1025,83
SM6	20,00	4,000	0,890	10,80	1002,15	1015,06
SM7	20,00	4,010	0,880	9,80	927,82	1041,00
SM8	20,00	4,005	0,880	11,40	1080,65	1047,44
SM9	20,00	4,010	0,880	13,30	1259,18	1074,75
SM10	20,00	4,000	0,870	13,50	1310,94	1072,54
SM11	20,00	4,060	0,875	14,40	1361,97	1118,44
SM12	20,00	4,075	0,880	12,70	1183,20	1088,13
SM13	20,00	4,065	0,870	14,10	1347,31	1130,28
SM14	20,00	4,025	0,930	15,40	1300,58	1121,78
SM15	20,00	3,955	0,930	16,90	1452,52	1137,81
SM16	20,00	4,000	0,900	18,10	1642,41	1151,42
SM17	20,00	4,000	0,900	18,20	1651,48	1167,42
SM18	20,00	3,935	0,860	6,80	686,93	866,26
SM19	20,00	3,990	0,880	7,20	685,08	908,53
SM20	20,00	3,960	0,880	7,20	690,27	903,31



Peça	L (cm)	B (cm)	e (cm)	Prup (kg)	MOR (N/cm <sup>2</sup> )	ρ (kg/m <sup>3</sup> )
SM21	20,00	3,990	0,895	9,00	827,89	962,01
SM22	20,00	3,930	0,850	6,70	693,73	846,07
SM23	20,00	3,950	0,900	10,40	955,65	971,07
SM24	20,00	3,920	0,900	9,10	842,59	948,29
SM25	20,00	3,950	0,930	10,50	903,59	1015,18
SM26	20,00	3,965	0,910	10,40	931,23	1018,86
SM27	20,00	3,965	0,895	8,30	768,31	948,77
SM28	20,00	3,960	0,920	10,50	921,01	1029,84
SM29	20,00	3,970	0,920	9,60	839,95	948,90
SM30	20,00	3,980	0,905	9,70	874,86	965,35
SM31	20,00	3,975	0,910	9,70	866,36	955,61
SM32	20,00	3,960	0,915	9,70	860,16	960,87
SM33	20,00	3,965	0,930	9,70	831,59	990,55
SM34	20,00	3,970	0,930	10,00	856,23	975,67
SM35	20,00	3,940	0,925	10,00	872,10	979,01
SM36	20,00	3,945	0,920	10,00	880,49	1008,77
SM37	20,00	3,920	0,900	9,80	907,41	964,62
SM38	20,00	3,865	0,900	11,50	1079,97	1057,48
SM39	20,00	3,910	0,910	10,50	953,40	1036,38
SM40	20,00	3,930	0,910	11,10	1002,76	1052,88
SM41	20,00	3,925	0,900	12,00	1109,70	1039,26
SM42	20,00	3,920	0,900	10,70	990,74	1025,68
SM43	20,00	3,945	0,910	11,40	1025,94	1039,31
SM44	20,00	3,795	0,865	20,10	2081,13	1185,32
SM45	20,00	3,730	0,860	21,70	2312,60	1249,51
SM46	20,00	3,750	0,855	16,90	1812,47	1179,39
SM47	20,00	3,760	0,850	21,40	2315,98	1222,33
SM48	20,00	3,810	0,855	16,90	1783,93	1153,85
SM49	20,00	3,800	0,870	20,40	2085,24	1175,08
SM50	20,00	3,785	0,840	19,10	2102,60	1192,48
SM51	20,00	3,780	0,830	20,10	2269,32	1223,91
SM52	20,00	3,795	0,840	20,20	2217,83	1191,48
SM53	20,00	3,800	0,815	19,40	2259,70	1214,40
SM54	20,00	3,805	0,860	15,20	1587,96	1111,01

### 9.2.1 – Intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura dos corpos de prova testados após a prensagem

A tabela 9.2, abaixo, apresenta o intervalo de confiança calculado para a média do MOR dos corpos de prova testados após a prensagem, para os níveis de confiança de 90%, 95%, 99% e 99,9%.

Para exemplificar, segue abaixo o cálculo da média levando em conta o intervalo de confiança para um nível de confiança de 90%:

$$\mu = M \pm t_x \times (s / (n)^{0,5})$$

O MOR médio calculado foi 1.290,51 N/cm<sup>2</sup>. O desvio padrão calculado do MOR foi 514,639. O número de amostras é 54. Para um nível de confiança de 90%, ou seja, probabilidade de erro igual a 10%, e grau de liberdade igual a 53, o valor de  $t_x$  é 1,674116.

$$\mu_{\text{inferior}} = 1.290,51 - 1,674116 \times (514,639 / (54)^{0,5}) = 1.173,27 \text{ N/cm}^2$$

$$\mu_{\text{superior}} = 1.290,51 + 1,674116 \times (514,639 / (54)^{0,5}) = 1.407,75 \text{ N/cm}^2$$

Ou seja, com um nível de confiança de 90%, a média da população do MOR dos corpos de prova testados após prensagem está entre 1.173,27 N/cm<sup>2</sup> e 1.407,75 N/cm<sup>2</sup>.

Tabela 9.2 – Intervalo de Confiança para a média do MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa.

Prensagem	Intervalo de Confiança da Média		
	Nível de Confiança	Valor Inferior (N/cm <sup>2</sup> )	Valor Superior (N/cm <sup>2</sup> )
90%		1173,27	1407,75
95%		1149,55	1431,47
99%		1103,39	1477,63
99,9%		1046,53	1534,49

### 9.2.2 – Gráfico do módulo de ruptura em função da densidade dos corpos de prova testados após prensagem

A figura 9.1 apresenta graficamente os valores do MOR dos corpos de prova testados após a prensagem em função das suas densidades, bem como o modelo desta relação obtido pela análise de regressão. Este modelo é representado pela curva e pela função constantes no gráfico.

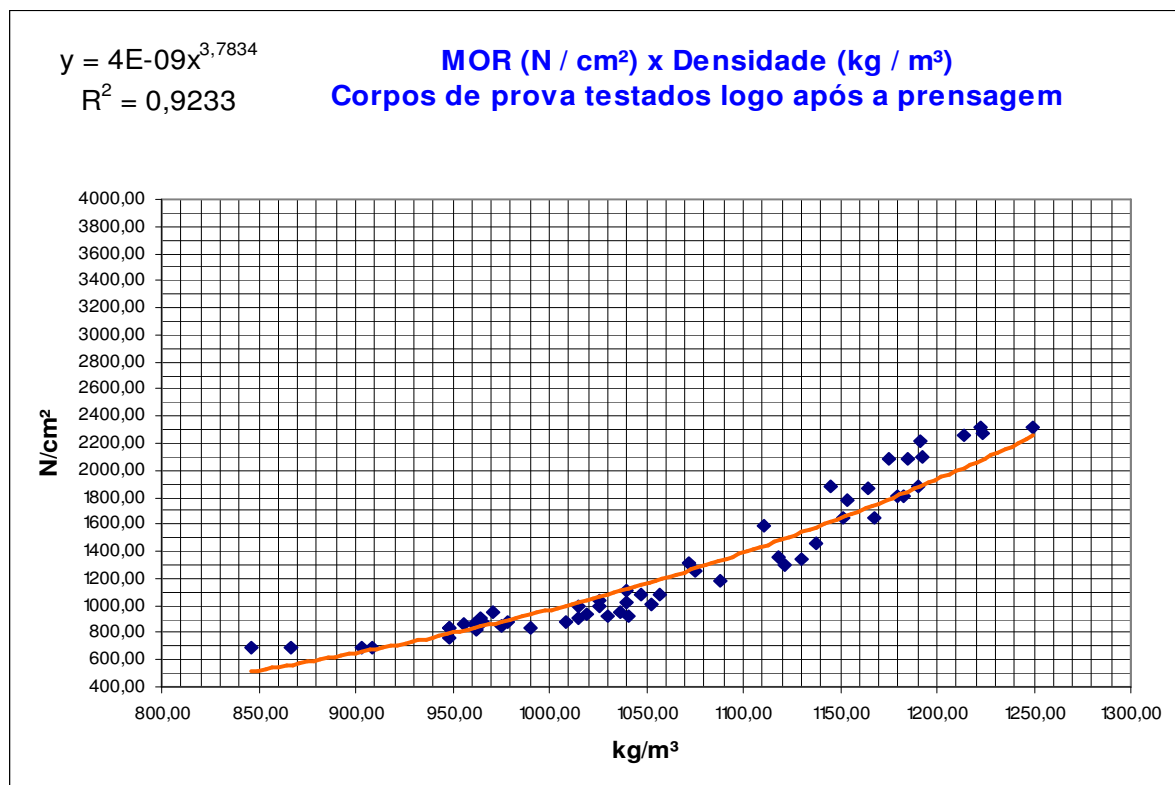


Figura 9.1 – Gráfico do módulo de ruptura dos corpos de prova testados logo após a prensagem em relação às suas densidades.

### 9.3 – Corpos de prova testados após exposição ao campo de microondas

A tabela 9.3, abaixo, apresenta as dimensões dos corpos de prova, a massa de ruptura (Prup) aplicada a cada corpo de prova no teste mecânico realizado logo após a exposição ao campo de microondas, e os módulos de ruptura na flexão e densidades calculadas através das fórmulas apresentadas no Capítulo 8 – Materiais e Métodos.

Para exemplificar, segue abaixo o cálculo do módulo de ruptura na flexão do corpo de prova CM1 :

$$\text{MOR} = (3 \times \text{Prup} \times g \times L) / (2 \times B \times e^2)$$

$$\text{MOR} = (3 \times 26,60 \times 9,8 \times 20) / (2 \times 3,980 \times 0,885^2) = 2.508,76 \text{ N/cm}^2$$

Tabela 9.3 – Dados dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas.

<b>Peça</b>	<b>L (cm)</b>	<b>B (cm)</b>	<b>e (cm)</b>	<b>Prup (kg)</b>	<b>MOR (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>ρ (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CM1	20,00	3,980	0,885	26,60	2508,76	1093,90
CM2	20,00	3,960	0,870	28,10	2756,26	1116,02
CM3	20,00	3,970	0,900	23,60	2157,66	1073,31
CM4	20,00	4,035	0,870	28,90	2782,04	1079,38
CM5	20,00	4,000	0,910	15,70	1393,49	965,27
CM6	20,00	3,990	0,910	16,10	1432,58	992,36
CM7	20,00	4,010	0,890	14,20	1314,35	990,92
CM8	20,00	4,035	0,880	16,50	1552,47	1005,94
CM9	20,00	4,000	0,925	16,70	1434,57	1001,11
CM10	20,00	4,010	0,875	18,80	1800,30	1031,95
CM11	20,00	4,050	0,920	16,70	1432,30	996,73
CM12	20,00	4,015	0,930	20,90	1769,47	1027,77
CM13	20,00	4,060	0,910	19,30	1687,70	1016,99
CM14	20,00	4,000	0,910	27,20	2414,20	1111,89
CM15	20,00	3,975	0,950	20,90	1712,81	1030,67
CM16	20,00	3,995	0,930	25,70	2186,74	1075,76
CM17	20,00	4,000	0,935	25,00	2101,86	1066,97
CM18	20,00	3,965	0,810	9,10	1028,43	848,39
CM19	20,00	3,950	0,875	9,90	962,43	942,00
CM20	20,00	3,960	0,880	10,60	1016,23	919,05
CM21	20,00	3,970	0,880	10,50	1004,11	943,48
CM22	20,00	3,935	0,940	14,70	1242,98	912,71
CM23	20,00	3,975	0,995	13,20	986,14	919,96
CM24	20,00	3,955	0,935	11,90	1011,87	917,47
CM25	20,00	3,930	0,950	16,20	1342,83	965,34
CM26	20,00	3,930	0,990	15,30	1167,82	924,12
CM27	20,00	3,970	0,950	15,50	1271,87	944,79
CM28	20,00	3,950	0,880	13,60	1307,15	964,57
CM29	20,00	3,965	0,900	13,40	1226,66	954,56
CM30	20,00	3,950	0,910	13,25	1190,92	941,22
CM31	20,00	3,940	0,910	12,60	1135,37	960,81
CM32	20,00	3,960	0,900	11,90	1090,72	901,69
CM33	20,00	3,940	0,895	14,70	1369,37	964,70
CM34	20,00	3,905	0,895	18,25	1715,31	1002,80
CM35	20,00	3,910	0,890	17,50	1661,23	1019,66
CM36	20,00	3,915	0,880	16,60	1609,75	987,14
CM37	20,00	3,910	0,890	17,90	1699,20	1025,99
CM38	20,00	3,910	0,910	16,00	1452,81	1002,47
CM39	20,00	3,910	0,890	17,20	1632,75	1013,66
CM40	20,00	3,770	0,800	24,30	2960,96	1123,62
CM41	20,00	3,685	0,840	34,50	3900,95	1189,83
CM42	20,00	3,700	0,840	31,30	3524,77	1200,62
CM43	20,00	3,800	0,850	25,80	2762,78	1127,61
CM44	20,00	3,810	0,920	29,30	2671,25	1114,51
CM45	20,00	3,800	0,880	31,30	3127,11	1132,97
CM46	20,00	3,720	0,855	28,20	3048,75	1141,27
CM47	20,00	3,710	0,840	31,90	3582,66	1177,88
CM48	20,00	3,780	0,890	29,10	2857,38	1140,19

Peça	L (cm)	B (cm)	e (cm)	Prup (kg)	MOR (N/cm <sup>2</sup> )	ρ (kg/m <sup>3</sup> )
CM49	20,00	3,660	0,850	30,10	3346,53	1166,66
CM50	20,00	3,800	0,840	33,90	3717,11	1146,01
CM51	20,00	3,805	0,870	29,60	3021,66	1125,73
CM52	20,00	4,025	0,880	36,80	3471,07	1198,56
CM53	20,00	4,020	0,880	34,45	3253,46	1177,97
CM54	20,00	4,015	0,880	34,20	3233,87	1177,23

### 9.3.1 – Intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas

A tabela 9.4, abaixo, apresenta o intervalo de confiança calculado para a média do MOR dos corpos de prova testados, após a exposição ao campo de microondas, para os níveis de confiança de 90%, 95%, 99% e 99,9%.

Para exemplificar, segue abaixo o cálculo da média levando em conta o intervalo de confiança para um nível de confiança de 90%:

$$\mu = M \pm t_x \times (s / (n)^{0,5})$$

O MOR médio calculado foi 2.019,33 N/cm<sup>2</sup>. O desvio padrão calculado do MOR foi 882,71. O número de amostras é 54. Para um nível de confiança de 90%, ou seja, probabilidade de erro igual a 10%, e grau de liberdade igual a 53, o valor de  $t_x$  é 1,674116.

$$\mu_{\text{inferior}} = 2.019,33 - 1,674116 \times (882,71 / (54)^{0,5}) = 1.818,23 \text{ N/cm}^2$$

$$\mu_{\text{superior}} = 2.019,33 + 1,674116 \times (882,71 / (54)^{0,5}) = 2.220,43 \text{ N/cm}^2$$

Ou seja, com um nível de confiança de 90%, a média da população do MOR dos corpos de prova testados após a exposição às microondas está entre 1.818,23 N/cm<sup>2</sup> e 2.220,43 N/cm<sup>2</sup>.

Tabela 9.4 – Intervalo de Confiança para a média do MOR dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas.

Microondas	Intervalo de Confiança da Média	
	Valor Inferior (N/cm <sup>2</sup> )	Valor Superior (N/cm <sup>2</sup> )
90%	1818,23	2220,43
95%	1778,40	2260,26
99%	1698,39	2340,27
99,9%	1600,86	2437,80

### 9.3.2 – Gráfico do módulo de ruptura em função da densidade dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas

A figura 9.2 apresenta graficamente os valores do MOR dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas em função das suas densidades, bem como o modelo desta relação obtido pela análise de regressão. Este modelo é representado pela curva e pela função constantes no gráfico.

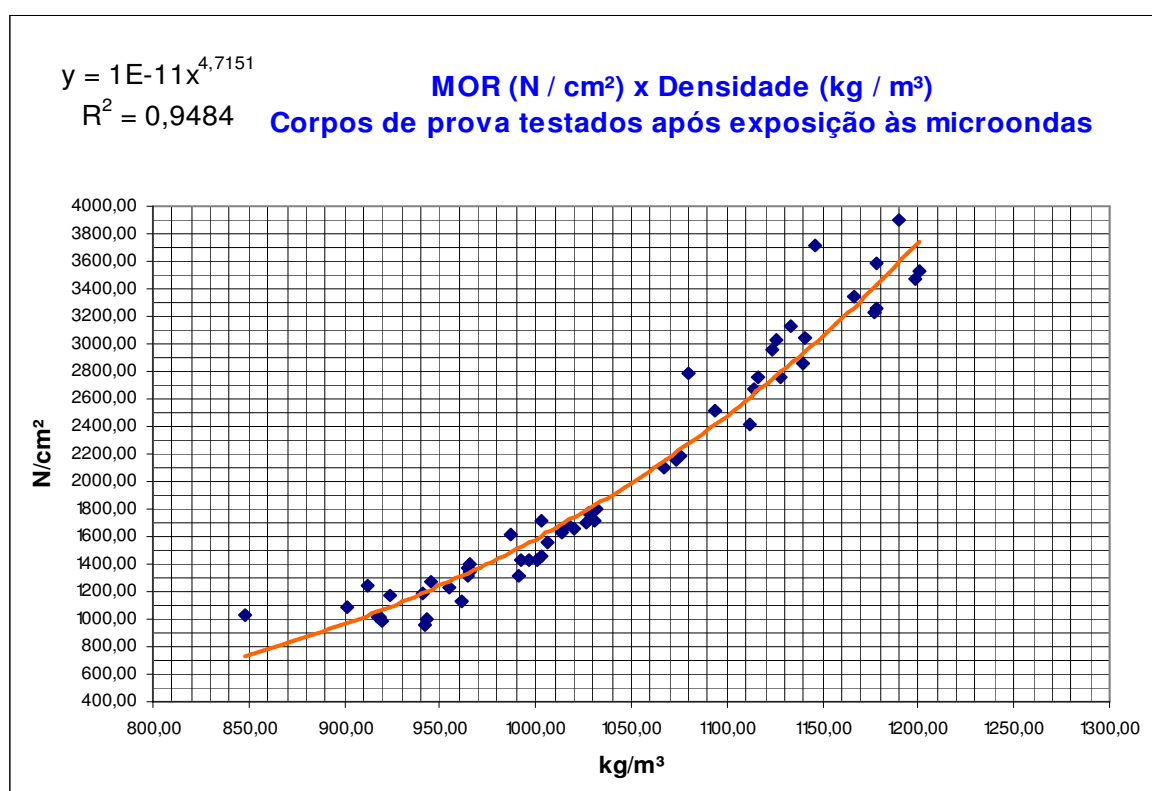


Figura 9.2 – Gráfico do módulo de ruptura dos corpos de prova testados logo após a exposição ao campo de microondas em relação às suas densidades.

#### 9.4 – Corpos de prova testados após o período de quarentena

A tabela 9.5, abaixo, apresenta as dimensões dos corpos de prova, a massa de ruptura (Prup) aplicada a cada corpo de prova no teste mecânico realizado logo após o período de quarentena, e os módulos de ruptura na flexão e densidades calculadas através das fórmulas apresentadas no Capítulo 8 – Materiais e Métodos.

Para exemplificar, segue abaixo o cálculo do módulo de ruptura na flexão do corpo de prova Q1 :

$$\text{MOR} = ( 3 \times \text{Prup} \times g \times L ) / ( 2 \times B \times e^2 )$$

$$\text{MOR} = ( 3 \times 8,20 \times 9,8 \times 20 ) / ( 2 \times 3,950 \times 0,88^2 ) = 788,13 \text{ N/cm}^2$$

Tabela 9.5 – Dados dos corpos de prova testados após o período de quarentena.

Peça	L (cm)	b (cm)	t (cm)	Prup (kg)	MOR (N/cm <sup>2</sup> )	ρ (kg/m <sup>3</sup> )
Q1	20,00	3,950	0,880	8,20	788,13	876,89
Q2	20,00	4,000	0,900	9,80	889,26	912,32
Q3	20,00	3,970	0,915	10,60	937,61	920,54
Q4	20,00	3,980	0,910	10,10	900,95	925,11
Q5	20,00	3,975	0,900	9,40	858,33	926,04
Q6	20,00	3,970	0,920	12,30	1076,18	978,61
Q7	20,00	3,900	0,890	11,80	1123,01	1000,97
Q8	20,00	3,960	0,890	10,60	993,52	1001,76
Q9	20,00	3,990	0,890	13,40	1246,52	1020,41
Q10	20,00	3,960	0,905	11,80	1069,64	1041,09
Q11	20,00	3,910	0,905	12,10	1110,86	1043,13
Q12	20,00	4,030	0,855	15,80	1576,77	1066,90
Q13	20,00	3,960	0,870	18,90	1853,85	1096,80
Q14	20,00	3,930	0,850	14,60	1511,71	1101,31
Q15	20,00	3,940	0,880	19,70	1898,24	1108,67
Q16	20,00	3,980	0,870	24,40	2381,31	1108,84
Q17	20,00	3,810	0,880	24,70	2461,24	1135,94
Q18	20,00	3,800	0,880	28,50	2847,37	1147,23
Q19	20,00	3,780	0,870	27,10	2784,75	1148,74
Q20	20,00	3,820	0,870	24,10	2450,54	1156,92
Q21	20,00	3,780	0,875	25,10	2549,84	1168,98
Q22	20,00	3,755	0,855	23,80	2549,07	1186,01
Q23	20,00	3,810	0,875	26,40	2660,79	1186,14
Q24	20,00	3,740	0,875	21,80	2238,29	1192,51
Q25	20,00	3,770	0,855	25,00	2666,94	1202,82
Q26	20,00	3,780	0,830	25,90	2924,15	1208,88
Q27	20,00	3,990	0,870	30,40	2959,44	1210,26

Peça	L (cm)	b (cm)	t (cm)	Prup (kg)	MOR (N/cm <sup>2</sup> )	ρ (kg/m <sup>3</sup> )
Q28	20,00	4,030	0,890	31,20	2873,54	1210,74
Q29	20,00	4,030	0,875	28,00	2667,99	1220,20
Q30	20,00	4,000	0,875	28,10	2697,60	1223,44

#### 9.4.1 – Intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura dos corpos de prova testados após o período de quarentena

A tabela 9.6, abaixo, apresenta o intervalo de confiança calculado para a média do MOR dos corpos de prova testados, após o período de quarentena, para os níveis de confiança de 90%, 95%, 99% e 99,9%.

Para exemplificar, segue abaixo o cálculo da média levando em conta o intervalo de confiança para um nível de confiança de 90%:

$$\mu = M \pm t_x \times (s / (n)^{0,5})$$

O MOR médio calculado foi 1.918,25 N/cm<sup>2</sup>. O desvio padrão calculado do MOR foi 795,636. O número de amostras é 30. Para um nível de confiança de 90%, ou seja, probabilidade de erro igual a 10%, e grau de liberdade igual a 29, o valor de  $t_x$  é 1,699.

$$\mu_{\text{inferior}} = 1.918,25 - 1,699 \times (795,636 / (30)^{0,5}) = 1.671,43 \text{ N/cm}^2$$

$$\mu_{\text{superior}} = 1.918,25 + 1,699 \times (795,636 / (30)^{0,5}) = 2.165,07 \text{ N/cm}^2$$

Ou seja, com um nível de confiança de 90%, a média da população do MOR dos corpos de prova testados após o período de quarentena está entre 1.671,43 N/cm<sup>2</sup> e 2.165,07 N/cm<sup>2</sup>.

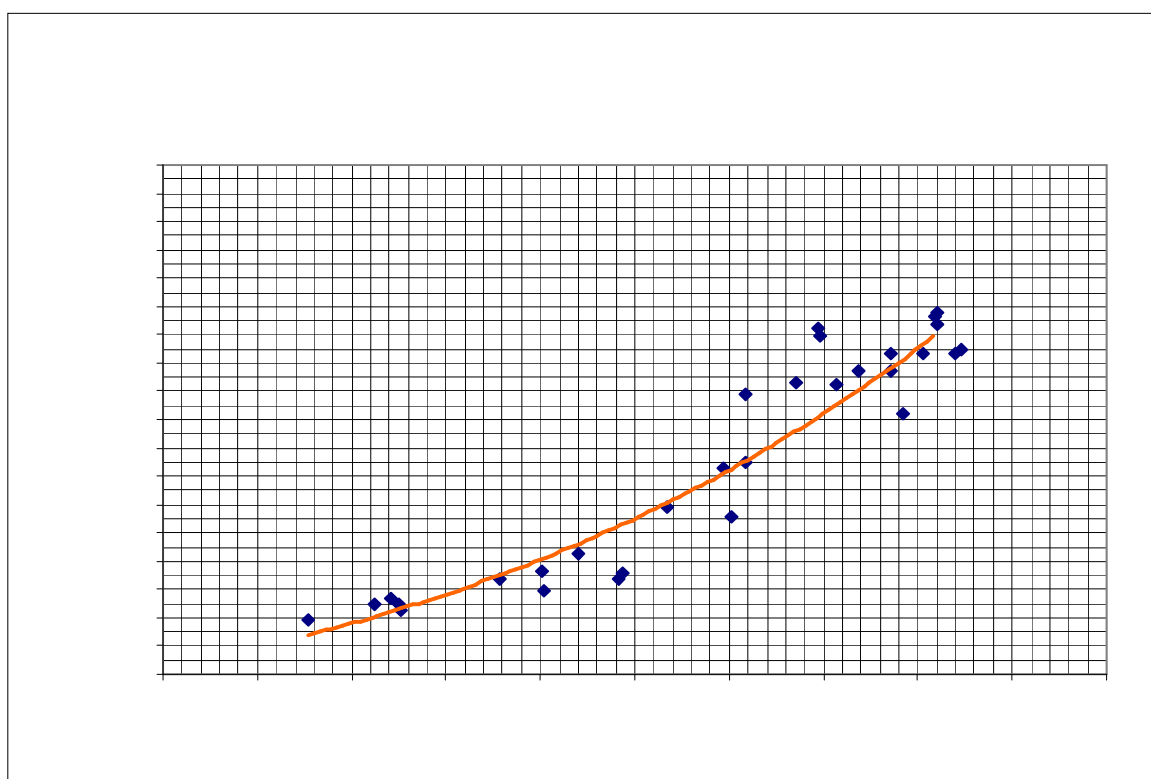
Tabela 9.6 – Intervalo de Confiança para a média do MOR dos corpos de prova testados após o período de quarentena.

Quarentena	Intervalo de Confiança da Média	
	Valor Inferior (N/cm <sup>2</sup> )	Valor Superior (N/cm <sup>2</sup> )
90%	1671,43	2165,07
95%	1621,15	2215,34
99%	1517,85	2318,65
99,9%	1386,66	2449,84



#### 9.4.2 – Gráfico do módulo de ruptura em função da densidade dos corpos de prova testados após a quarentena

A figura 9.3 apresenta graficamente os valores do MOR dos corpos de prova testados, após o período de quarentena, em função das suas densidades, bem como o modelo desta relação obtido pela análise de regressão. Este modelo é representado pela curva e pela função constantes no gráfico.



$$\text{MOR} = 4 \times 10^{-9} \times \rho^{3,7834} \quad R^2 = 0,9233$$

Função MOR x Densidade para os corpos de prova testados após a exposição às microondas.

$$\text{MOR} = 1 \times 10^{-11} \times \rho^{4,7151} \quad R^2 = 0,9484$$

Função MOR x Densidade para os corpos de prova testados após o período de quarentena :

$$\text{MOR} = 7 \times 10^{-11} \times \rho^{4,4062} \quad R^2 = 0,9153$$

De posse das funções, foi montada a tabela 9.7, onde se calculou os valores de MOR para o intervalo de densidades obtidas no estudo, 850 kg/m<sup>3</sup> a 1200 kg/m<sup>3</sup>. A partir da tabela foi feito o gráfico 9.4, abaixo, contendo as três curvas das funções obtidas. O gráfico construído teve como objetivo a comparação gráfica do comportamento do MOR em função da densidade dos três modelos, que representam os três universos estudados.

Tabela 9.7 – Dados do MOR em função da densidade calculados a partir da regressão.

$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	MOR do corpo de prova testados após a prensagem (N/cm <sup>2</sup> )	MOR do corpo de prova exposto ao campo de microondas (N/cm <sup>2</sup> )	MOR do corpo de prova submetido à quarentena (N/cm <sup>2</sup> )
850,00	484,42	649,39	565,85
855,00	495,29	667,60	580,67
860,00	506,34	686,20	595,78

$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	MOR do corpo de prova testados após a prensagem (N/cm <sup>2</sup> )	MOR do corpo de prova exposto ao campo de microondas (N/cm <sup>2</sup> )	MOR do corpo de prova submetido à quarentena (N/cm <sup>2</sup> )
950,00	737,87	1097,15	923,73
955,00	752,67	1124,64	945,34
960,00	767,69	1152,68	967,35
965,00	782,93	1181,26	989,74
970,00	798,38	1210,40	1012,54
975,00	814,07	1240,10	1035,74
980,00	829,97	1270,37	1059,35
985,00	846,11	1301,22	1083,37
990,00	862,47	1332,66	1107,81
995,00	879,07	1364,70	1132,68
1000,00	895,90	1397,33	1157,97
1005,00	912,97	1430,58	1183,70
1010,00	930,27	1464,45	1209,87
1015,00	947,82	1498,95	1236,48
1020,00	965,60	1534,09	1263,55
1025,00	983,63	1569,87	1291,07
1030,00	1001,91	1606,31	1319,05
1035,00	1020,43	1643,41	1347,50
1040,00	1039,21	1681,18	1376,42
1045,00	1058,24	1719,63	1405,82
1050,00	1077,53	1758,77	1435,70
1055,00	1097,07	1798,61	1466,06
1060,00	1116,87	1839,16	1496,93
1065,00	1136,93	1880,43	1528,29
1070,00	1157,26	1922,42	1560,16
1075,00	1177,85	1965,14	1592,54
1080,00	1198,71	2008,61	1625,44
1085,00	1219,85	2052,84	1658,86
1090,00	1241,25	2097,83	1692,80
1095,00	1262,93	2143,59	1727,29
1100,00	1284,89	2190,13	1762,31
1105,00	1307,12	2237,47	1797,88
1110,00	1329,64	2285,61	1834,00
1115,00	1352,45	2334,56	1870,68
1120,00	1375,53	2384,34	1907,93
1125,00	1398,91	2434,95	1945,75
1130,00	1422,58	2486,40	1984,14
1135,00	1446,54	2538,70	2023,12
1140,00	1470,80	2591,86	2062,68
1145,00	1495,36	2645,90	2102,84
1150,00	1520,21	2700,82	2143,61
1155,00	1545,37	2756,64	2184,98
1160,00	1570,83	2813,36	2226,96
1165,00	1596,61	2871,00	2269,57
1170,00	1622,69	2929,57	2312,80
1175,00	1649,08	2989,07	2356,67
1180,00	1675,79	3049,52	2401,18
1185,00	1702,81	3110,92	2446,33



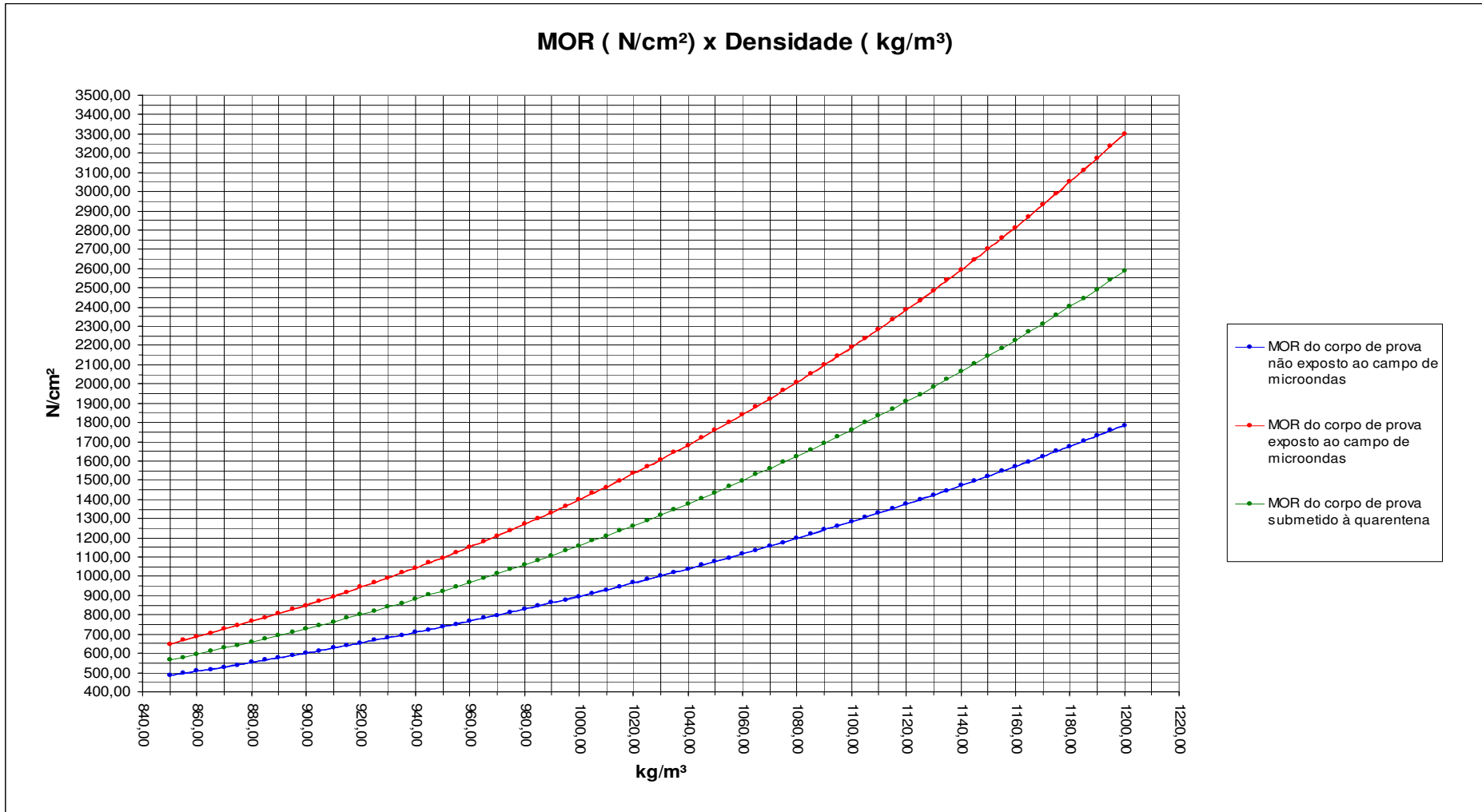


Figura 9.4 – Gráfico das funções de MOR x Densidade

## 9.6 – ANOVA – Análise de variâncias.

A análise de variâncias foi realizada entre os universos estudados, considerando os dados reais obtidos nos testes mecânicos.

### 9.6.1 – ANOVA entre os três universos

Inicialmente, foi feita a ANOVA entre os três universos estudados: MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa, MOR dos corpos de prova submetidos ao campo de microondas, e MOR dos corpos de prova submetidos à quarentena.

O resultado desta primeira análise é dado na tabela 9.8, abaixo.

Tabela 9.8 – Resultado da análise de variâncias dos três universos estudados.

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Corpos de prova após prensagem	54	69687,6	1290,510285	264853,1445
Corpos de prova após microondas	54	109044	2019,329667	779177,4152
Corpos de prova após quarentena	30	57547,4	1918,248261	633037,0007

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	15969822,2	2	7984911,1	14,62801	1,77763E-06	7,273684
Dentro dos grupos	73691692,68	135	545864,3903			
Total	89661514,88	137				

O valor “F” calculado na análise de variâncias entre os três universos, 14,63 é superior ao valor do “F” crítico, 7,27.

### 9.6.2 – ANOVA a cada dois universos

Para se comprovar efeito de cada um dos tratamentos em relação aos corpos de prova testados após a prensagem, e em seguida testar a diferença entre os dois tratamentos, foram feitas as análises de variância a cada dois universos.

Primeiramente foi feita a ANOVA entre o MOR dos corpos de prova testados após a prensagem, e o MOR dos corpos de prova submetidos ao campo de microondas, para se verificar o efeito do tratamento exposição ao campo de microondas. A tabela 9.9, dá o resultado desta análise.

Tabela 9.9 – ANOVA entre o MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa, e o MOR dos corpos de prova submetidos ao campo de microondas.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	14341797,66	1	14341797,66	27,4739	8,17257E-07	11,456
Dentro dos grupos	55333619,66	106	522015,2798			
Total	69675417,33	107				

O valor “F” calculado na análise de variâncias, 27,47 é superior ao valor do “F” crítico, 11,46.

Em seguida, foi feita a ANOVA entre o MOR dos corpos de prova testados após a saída da prensa, e o MOR dos corpos de prova submetidos à quarentena, para se verificar o efeito do tratamento quarentena. A tabela 9.10 dá o resultado desta análise.

Tabela 9.10 – ANOVA entre o MOR dos corpos de prova testados após a prensagem, e o MOR dos corpos de prova submetidos à quarentena.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	7599631,502	1	7599631,502	19,23643	3,40456E-05	

## 10.0 - DISCUSSÃO

### 10.1 – Análise de frequência das densidades

Como a separação dos corpos de prova para constituírem os três universos estudados foi por seleção aleatória sem restrição, a distribuição de densidades dos corpos de prova não ficou homogênea.

Este desequilíbrio da distribuição das densidades pode ser observado na tabela abaixo 10.1, que apresenta as colunas com as frequências absolutas das densidades, ou seja, o número de observações de corpos de prova, para cada faixa de densidade, nos três tipos de universos. A figura 10.1 representa graficamente a frequência absoluta de densidades através de um diagrama de barras.

Como a quantidade de corpos de prova submetidos à quarentena é menor em relação à quantidade dos corpos de prova testados após a prensagem e aos corpos de prova submetidos ao campo de microondas, para uma melhor análise das frequências, a tabela 10.1 também apresenta as colunas das frequências relativas das densidades. Na frequência relativa, para cada nível de densidade, é feito o quociente da frequência absoluta de corpos de prova em relação ao número total de observações, apresentando, assim, a distribuição porcentual para cada faixa de densidade dos corpos de prova. A figura 10.2 representa graficamente a frequência relativa de densidades através de um diagrama de barras.

Tabela 10.1 – Frequência Absoluta e Frequência Relativa de Densidades.

Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Frequência Absoluta			Frequência Relativa		
	Prensa	Microondas	Quarentena	Prensa (%)	Microondas (%)	Quarentena (%)
800-850	1	1	0	1,85	1,85	0,00
850-900	1	0	1	1,85	0,00	3,33
900-950	5	10	4	9,26	18,52	13,33
950-1000	9	10	1	16,67	18,52	3,33
1000-1050	12	11	5	22,22	20,37	16,67
1050-1100	5	5	2	9,26	9,26	6,67
1100-1150	6	10	6	11,11	18,52	20,00
1150-1200	11	6	5	20,37	11,11	16,67
1200-1250	4	1	6	7,41	1,85	20,00
<b>Quantidade total de corpos de prova</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>30</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>



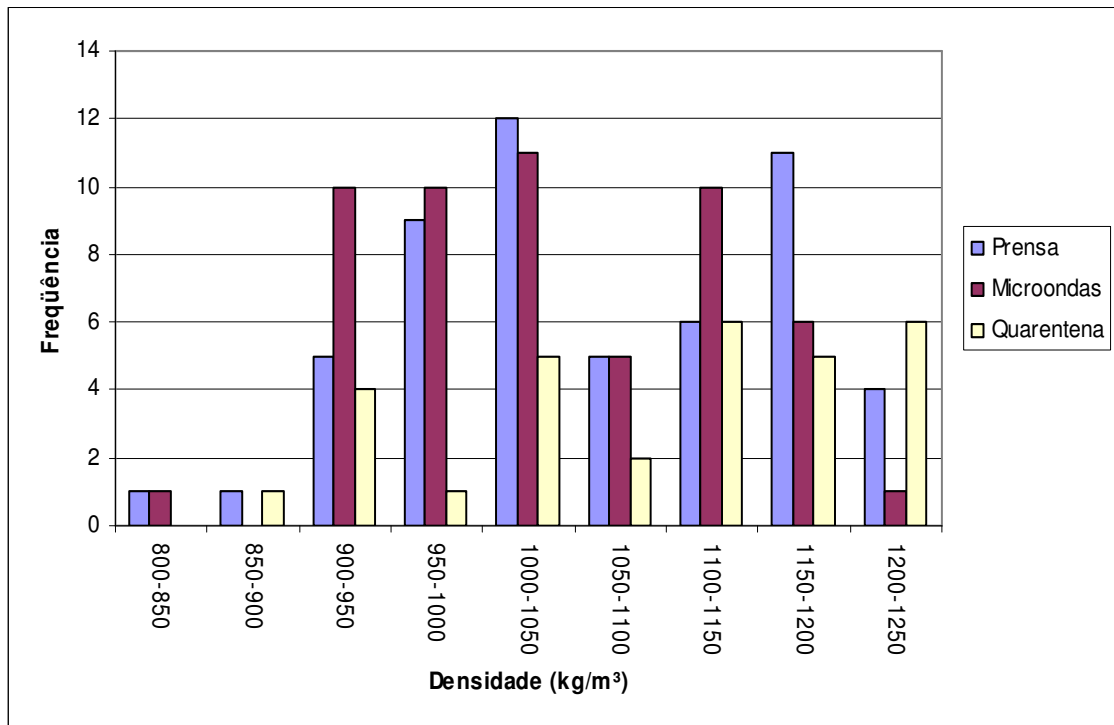


Figura 10.1 – Diagrama de barras da frequência absoluta de densidades.

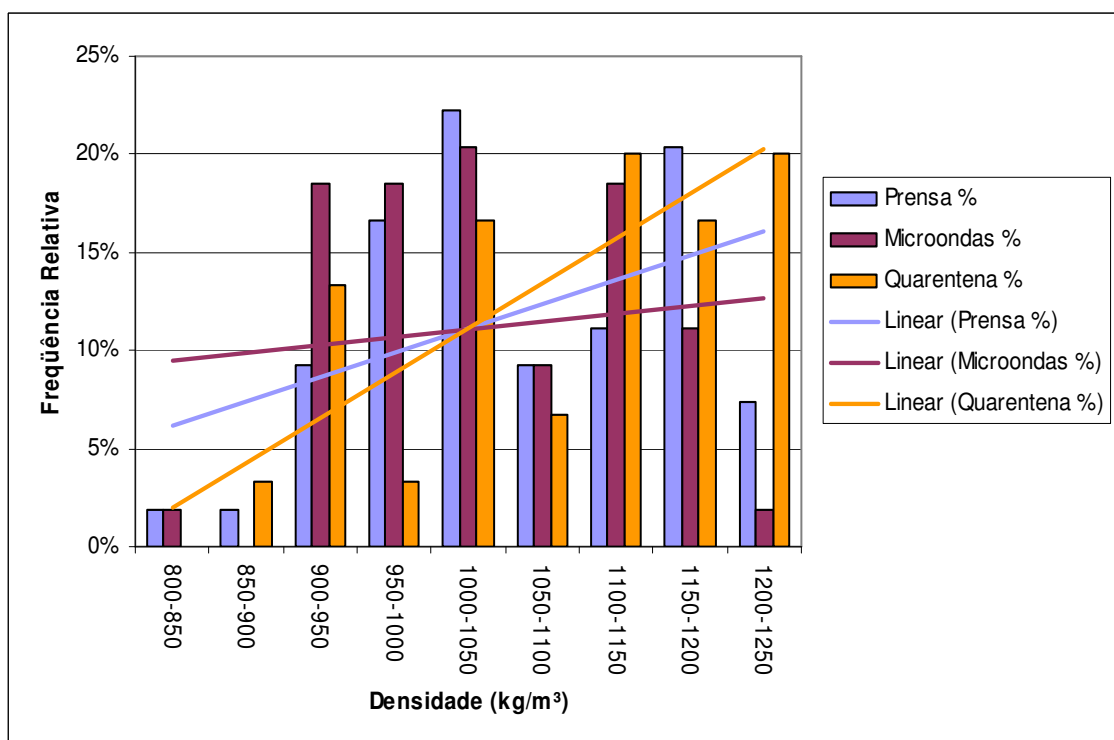


Figura 10.2 – Diagrama de barras da frequência relativa de densidades.

Traçando-se as linhas de tendência para as distribuições do diagrama de barras das frequências relativas de densidade, observa-se que existe uma tendência do universo dos

corpos de prova submetidos ao período de quarentena em apresentar densidades maiores que as do universo dos corpos de prova testados logo após a prensagem. Analogamente, existe uma tendência do universo dos corpos de prova testados logo após a prensagem em apresentar densidades maiores que as do universo dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas.

Esta tendência pode ser confirmada pela comparação das densidades médias dos corpos de prova de cada um destes universos. A densidade média dos corpos de prova testados após o período de quarentena é de 1.090,94 kg/m<sup>3</sup>. A densidade média dos corpos de prova testados logo após a prensagem é de 1.062,82 kg/m<sup>3</sup>. Enquanto a densidade média dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas é de 1.036,93 kg/m<sup>3</sup>.

Como o valor do MOR é diretamente proporcional ao valor da densidade, a mesma tendência observada para a concentração de densidades também é válida para os módulos de ruptura. Assim, pode-se dizer que houve uma imprevista elevação do valor da média do MOR do universo dos corpos de prova testados após o período de quarentena, e do universo dos corpos de prova testados após a prensagem.

Com isto, pode-se afirmar que pelo método de seleção aleatória sem restrição dos corpos de prova não houve favorecimento direcionado para o aumento do valor médio do MOR dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas.

## **10.2 – Análise do intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura**

O valor médio do MOR calculado a partir dos dados obtidos nos testes mecânicos para os corpos de prova expostos ao campo de microondas é de 2.019,33 N/cm<sup>2</sup>. Este valor é 56,47% maior do que o médio do MOR dos corpos de prova testados após a prensagem, 1.290,51 N/cm<sup>2</sup>. Também é 5,27% maior do que o médio do MOR dos corpos de prova testados após o período de quarentena, 1.918,25 N/cm<sup>2</sup>.

Em relação ao intervalo de confiança para a média do MOR da população na faixa de densidades estudada, calculado a partir dos dados obtidos nos testes mecânicos, com um nível de confiança de 95%, ou seja, significativo, o intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas foi de 1.778,40 N/cm<sup>2</sup> a 2.260,26 N/cm<sup>2</sup>, enquanto para os corpos de prova testados após a prensagem foi de 1.149,55 N/cm<sup>2</sup> a 1.431,47 N/cm<sup>2</sup>, e para os corpos de prova testados após período de quarentena foi de 1.621,15 N/cm<sup>2</sup> a 2.215,34 N/cm<sup>2</sup>. A figura 10.3, abaixo, apresenta a comparação gráfica entre os intervalos de confiança dos valores de MOR obtidos nos testes mecânicos, com nível de confiança de 95%.

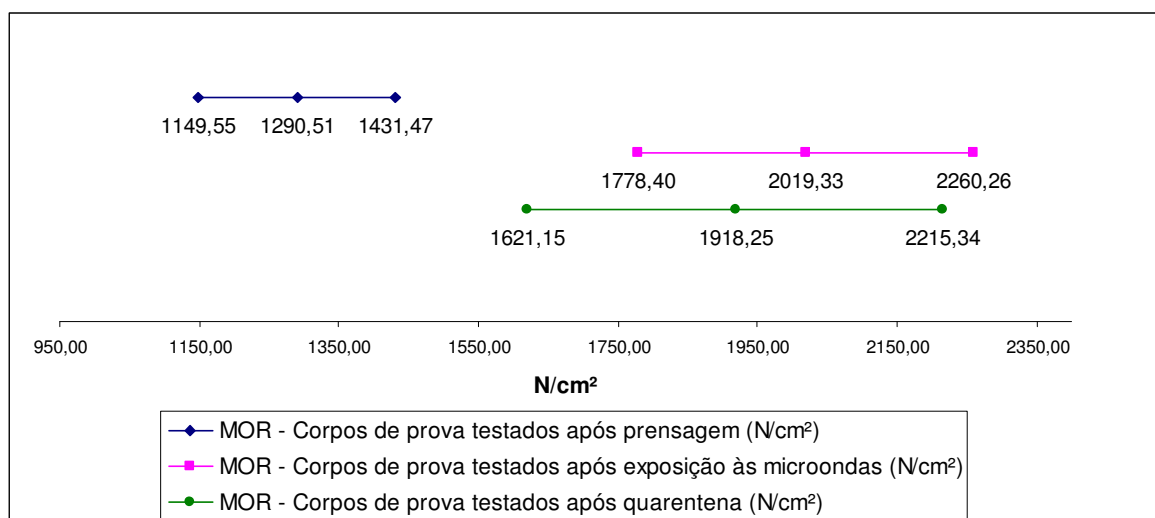


Figura 10.3 – Representação gráfica dos intervalos de confiança dos valores de MOR obtidos nos testes mecânicos, com nível de confiança de 95%.

O valor inferior do intervalo de confiança dos corpos de prova expostos ao campo de microondas é maior do que o valor superior do intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a prensagem. O intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas, praticamente coincide com o intervalo de confiança dos corpos de prova expostos ao período de quarentena.

Para confirmar, se considerado um nível de confiança de 99%, ou seja, altamente significativo, o intervalo de confiança para o MOR dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas foi de 1.698,39 N/cm<sup>2</sup> a 2.340,27 N/cm<sup>2</sup>, enquanto para os corpos de prova testados após a prensagem foi de 1.103,39 N/cm<sup>2</sup> a 1.477,63 N/cm<sup>2</sup>, e para os corpos de prova testados após período de quarentena foi de 1.517,85 N/cm<sup>2</sup> a 2.318,65 N/cm<sup>2</sup>. A figura 10.4, abaixo, apresenta a comparação gráfica entre os intervalos de confiança dos valores de MOR obtidos nos testes mecânicos, com nível de confiança de 99%.

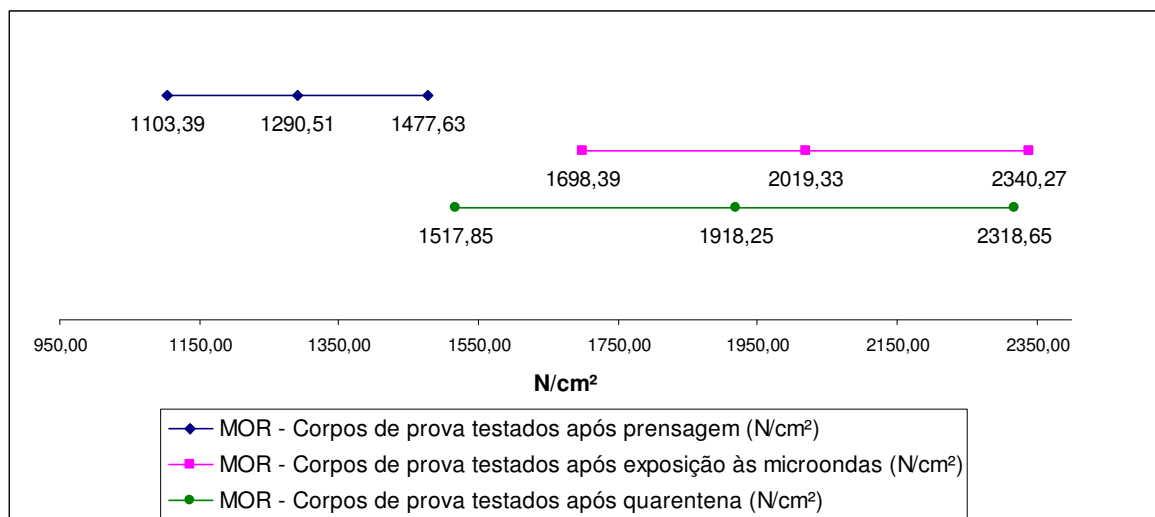


Figura 10.4 – Representação gráfica dos intervalos de confiança dos valores de MOR obtidos nos testes mecânicos, com nível de confiança de 99%.

Para o nível de confiança de 99%, o valor inferior do intervalo de confiança dos corpos de prova expostos ao campo de microondas continuou maior do que o valor superior do intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a prensagem. O intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas, permaneceu coincidindo com o intervalo de confiança dos corpos de prova expostos ao período de quarentena. O valor inferior do intervalo de confiança dos corpos de prova expostos ao período de quarentena, se aproximou do valor superior do intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a prensagem. Porém esta aproximação não foi suficiente para ocorrer a sobreposição dos intervalos de confiança destes dois universos.

Levando-se em conta os dados calculados através dos modelos obtidos na análise de regressão, valor médio do MOR dos corpos de prova expostos ao campo de microondas é de 1.708,25 N/cm². Este valor é 64,97% maior do que o médio do MOR calculado para os corpos de prova testados após a prensagem, 1.035,50 N/cm². Também é 23,04% maior do que o médio do MOR dos corpos de prova testados após o período de quarentena, 1.388,39 N/cm².

Em relação ao intervalo de confiança para a média do módulo de ruptura da população na faixa de densidades estudada, calculado a partir dos modelos obtidos na análise de regressão, com um nível de confiança de 95%, ou seja, significativo, o intervalo de confiança do MOR dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas foi de 1.524,10 N/cm² a 1.892,39 N/cm², enquanto para os corpos de prova testados após a prensagem foi de 944,82 N/cm² a 1.126,19 N/cm², e para os corpos de prova testados após período de quarentena foi de 1.247,93 N/cm² a 1.528,84 N/cm². A figura 10.5, abaixo,

apresenta a comparação gráfica entre os intervalos de confiança dos valores de MOR calculados a partir dos modelos.

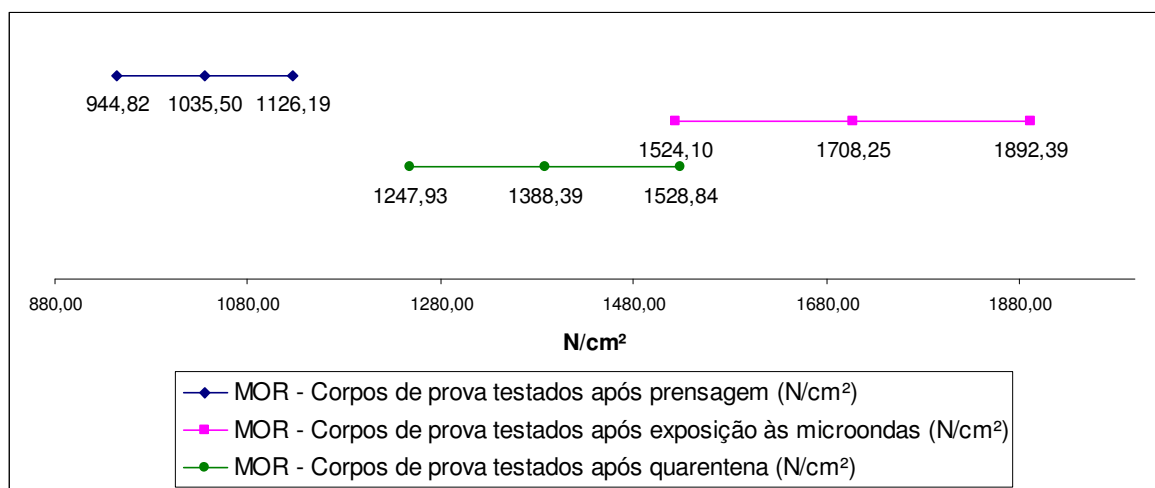


Figura 10.5 – Representação gráfica dos intervalos de confiança dos valores de MOR calculados a partir dos modelos obtidos por regressão, com nível de confiança de 95%.

O valor inferior do intervalo de confiança dos corpos de prova expostos ao campo de microondas é maior do que o valor superior do intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a prensagem. O intervalo de confiança dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas, praticamente, também é superior ao intervalo de confiança dos corpos de prova expostos ao período de quarentena.

Comparando-se o intervalo de confiança do MOR dos corpos de prova testados após a quarentena, com o intervalo de confiança do MOR dos corpos de prova testados após a prensagem, podemos afirmar que a resina dos corpos de prova testados após a saída da prensa não estava totalmente curada, necessitando do período de quarentena para que ocorresse a cura total.

Comparando-se o intervalo de confiança do MOR do universo dos corpos de prova testados após a quarentena, com o intervalo de confiança do MOR do universo dos corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas, sem a quarentena, podemos afirmar que a exposição ao campo de microondas foi suficiente para a aceleração da cura da resina, atingindo um nível de cura semelhante aos corpos de prova submetidos à quarentena.

Se for considerado o intervalo de confiança dos dados calculados a partir dos modelos obtidos através da regressão, a exposição ao campo de microondas resultou em um incremento na resistência mecânica, em relação aos corpos de prova expostos ao período de

quarentena.

### **10.3 – Análise do gráfico do módulo de ruptura em função das densidades a partir da análise de regressão**

No gráfico dos valores de MOR calculados a partir dos modelos da análise de regressão, a curva do MOR dos corpos de prova expostos às microondas está acima da curva do MOR dos corpos de prova expostos apenas ao período de quarentena. Deste modo, pode-se supor que a exposição ao campo de microondas, sem a necessidade de quarentena, seja suficiente para a ocorrência da cura da resina a nível equivalente aos corpos de prova submetidos à quarentena.

O processo de cura por microondas aparenta ser mais eficiente do que o processo através da quarentena, não só pela redução drástica do tempo de cura, mas também porque permite resultados mecânicos superiores. Isto pode ser atribuído à provável contribuição que o campo de microondas exerce no aumento da quantidade de ligações cruzadas durante a cura da resina.

O campo de microondas permite, no volume de penetração, um aquecimento de camadas mais profundas, que anteriormente não haviam sido aquecidas através do aquecimento convencional, permitindo uma aceleração da cinética de reação destas regiões. O aumento da temperatura média da peça exposta ao campo de microondas, resultará no aumento da cinética de reações média da peça, sendo esta muito superior à cinética de reações dos corpos de prova expostos à quarentena.

O aumento da temperatura média dos corpos de prova expostos às microondas também pode contribuir no aumento da quantidade de ligações cruzadas moleculares formadas durante a cura da resina. Isto ajuda a explicar os melhores resultados obtidos nos testes mecânicos pelos corpos de prova expostos às microondas, em relação aos corpos de prova expostos à quarentena.

Outro mecanismo que pode explicar o aumento da velocidade da cura da resina é o desemparelhamento de spins dos elétrons nos átomos. A aplicação do campo de microondas em frequências específicas (aplicada ou parasitas) pode causar o desemparelhamento de spins dos elétrons. O desemparelhamento de spins dos elétrons pode permitir ligações químicas que, em condições normais, são proibidas. Desta maneira, as reações químicas sob influência do campo de microondas poderão se realizar através de novos passos, resultando em novos mecanismos de reação, permitindo reações mais rápidas.

Observou-se também que, quanto maior a densidade, maior foi a eficiência mecânica dos copos de prova. Percebe-se o incremento da eficiência mecânica pelo acréscimo da distância entre as curvas de MOR dos três universos, à medida que a densidade aumenta. Com o aumento da densidade há uma redução do espaço entre as moléculas da resina, podendo facilitar a formação de mais ligações cruzadas.

#### **10.4 – ANOVA – Análise de variâncias**

Inicialmente, foi realizada a análise de variância entre os valores de MOR dos três universos estudados: corpos de prova testados após a prensagem, corpos de prova testados após a exposição ao campo de microondas, e corpos de prova testados após o período de quarentena. Nesta análise de variâncias, o valor “F” calculado é superior ao valor do “F” crítico, portanto, com um nível de confiança de 99,9%, pode-se aceitar que pelo menos um dos universos é diferente dos demais.

Analisando os universos dois a dois obtiveram-se as seguintes conclusões:

Na análise de variância entre o módulo de ruptura dos corpos de prova testados após a prensagem, e o MOR dos corpos de prova submetidos ao campo de microondas, o valor “F” calculado é superior ao valor do “F” crítico. Portanto, com um nível de confiança de 99,9% pode-se aceitar que a aplicação do campo de microondas, causou diferença significativa nos valores do MOR dos corpos de prova expostos, em relação aos valores de MOR dos corpos de prova testados após a prensagem.

Na análise de variância entre o MOR dos corpos de prova testados logo após a saída da prensa, e o MOR dos corpos de prova submetidos à quarentena, o valor “F” calculado é superior ao valor do “F” crítico. Portanto, com um nível de confiança de 99,9% pode-se aceitar que a cura obtida no período da quarentena causou diferença significativa nos valores do MOR dos corpos de prova expostos à quarentena, em relação aos valores de MOR dos corpos de prova testados logo após a prensagem.

Na análise de variância entre MOR dos corpos de prova submetidos ao campo de microondas e o MOR dos corpos de prova submetidos à quarentena, o valor “F” calculado é inferior ao valor do “F” crítico, mesmo a um nível de confiança de 90%. Portanto, não se pode afirmar que os dados experimentais do desempenho mecânico de ambos universos apresentem resultados diferentes, ou seja aparentam ser equivalentes entre si.

Pelas análises de variâncias pode-se afirmar que a exposição dos corpos de prova ao campo de microondas, sem o período de quarentena, produz uma cura da resina, no mínimo,

equivalente à cura pelo processo de quarentena.

### 10.5 – Comparação entre o MOR obtido nos testes com o compósito e o MOR dos painéis encontrados no mercado.

A tabela 10.2, abaixo, apresenta os valores de densidade e MOR das placas de madeira reconstituída encontradas no mercado.

Tabela 10.2 – MOR e densidade de placas de madeira reconstituída.

Produto	Fabricante	Espessura (mm)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	MOR (N/cm <sup>2</sup> )
Aglomerado (Placas do Paraná, 2005)	Placas do Paraná	10	727	1.800
Aglomerado (Duratex, 2006)	Duratex	8 a 12	620	1.800
MDF (Duratex, 2006)	Duratex	9	750	2.300 (mínimo)
MDF (Masisa, 2005)	Masisa	9	620	3.500 +/- 500
OSB (Masisa, 2003)	Masisa	11 a 18	640	2.000

Considerando os valores de MOR calculados através do modelo obtido pela regressão para os corpos de prova submetidos às microondas, o compósito em estudo possui valores de MOR próximos ao MOR do aglomerado em densidades próximas a 1.055 kg/m<sup>3</sup>, valores de MOR próximos ao valor mínimo do MOR do MDF da Duratex em densidades próximas à 1.110 kg/m<sup>3</sup>, valores de MOR próximos ao valor mínimo do MOR do MDF da Masisa em densidades próximas à 1.180 kg/m<sup>3</sup>, e valores de MOR próximos ao MOR do OSB em densidades próximas à 1.080 kg/m<sup>3</sup>.

Os resíduos de madeira utilizados para a produção do compósito possuem menor granulometria do que as fibras de madeira utilizadas para a produção de chapas de madeira reconstituída. Assim, para atingir os valores de MOR semelhantes aos das placas de madeira reconstituída, a menor granulometria é compensada pela maior densidade do compósito.

Pode-se dizer, então, que é possível produzir placas do compósito em estudo com valores de MOR semelhantes aos das placas de madeira reconstituída existentes no mercado, porém, com densidade maior do que estas.



## 11.0 - CONCLUSÃO

Os resultados discutidos no item 10.5 permitem afirmar que, o compósito estudado apresenta resistência mecânica comparável à dos congêneres comerciais. Como apresentado na tabela 9.7 do item 9.5 é possível a fabricação de compósito com densidades entre 1.050 kg/m<sup>3</sup> e 1.200 kg/m<sup>3</sup> que, apresente valores de MOR análogos aos de chapas comerciais de densidade aproximada de 700 kg/m<sup>3</sup>. Desta maneira, torna-se viável transformar a serragem e o pó de madeira decorrente do processo produtivo de marcenarias em matéria prima para a fabricação de peças técnicas, molduras, apliques, e artesanatos.

De acordo com a discussão tecida no item 10.3, conclui-se com base nos tempos de processamento observados que, é possível acelerar a cura do compósito após a saída da prensa com o auxílio de microondas, dispensando o período de quarentena necessário para cura final da resina. Deste modo não será necessária a utilização de espaço físico para estocagem de peças em processo de cura.

Os corpos de prova curados com o incentivo de microondas aparentam atingir resultados de MOR superiores nos testes mecânicos destrutivos de flexão, em relação aos resultados obtidos pelos corpos de prova curados pelo processo convencional com cura por quarentena.

Apesar das limitações técnicas inerentes ao orçamento disponível obtiveram-se resultados favoráveis e confiáveis, como se vê no item 10.2. Isto traz boas perspectivas para o seu aperfeiçoamento, como por exemplo, um estudo mais aprofundado sobre a influência da potência de microondas, do tempo de irradiação e do tempo de prensagem, bem como da classificação do tipo de resíduo de madeira para obtenção de melhores resultados mecânicos.

Outros testes mecânicos também poderão ser introduzidos, para que seja efetuada uma análise mais profunda entre o compósito desenvolvido e as chapas de madeira reconstituída encontradas no mercado.

Em um estudo futuro poderá ser testada a adição de materiais como, por exemplo, a fibra de vidro para melhorar a resistência mecânica, resina fenólica para melhorar a resistência à umidade, corantes para a modificação da coloração, etc.

Moldes e uma prensa adequada ao processo poderão ser desenvolvidos, permitindo a fabricação de peças ou placas com densidade especificada e homogênea. Como exemplo, os moldes deverão possuir bordas mais altas possibilitando a distribuição das fibras por igual, e a prensa deverá possuir maior curso de abertura para suportar a utilização dos moldes com bordas altas.

## 12.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMÓVEL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO. Disponível em: <http://www.abimovel.org.br>. Acessado em 10/11/2005.

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <http://www.abipa.org.br>. Acessado em 10/11/2005.

AKZO NOBEL – TINTAS INDUSTRIAIS. Disponível em: <http://akzonobel-ti.com.br/artigos/mdf/mdf1.htm>. Acessado em 20/11/2005.

ALBA ADESIVOS. *Cascamite – Boletim Técnico*, Doc°55 REV-1 A90432-02/2000.

ALESSO, P. ET AL. *Cideu, el Primer Centro de Apoyo a la Investigación y Documentación del Eucalipto em Europa*. Revista Electronica Insectarium Virtual. Disponível em: <http://www.insectariumvirtual.com/reportajes/cideu/cideu.htm>. Acessado em 15/09/2006.

ANDRADE, MÁRIO DE. *Especificações da Resina Uréia Formol*. Assistência Técnica - Colagem de Laminados, Hexion Specialty Chemicals, Inc., 18 de julho de 2005. Informação verbal.

ANTHONY, PATRICK, LYLE. *Building Substrate and Method of Manufacturing Same*, WO92/12836, 06 de agosto de 1992.

A.N.U. - AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY – DEPART OF FORESTRY. Disponível em: <http://sres.anu.edu.au/associated/fpt/mdf/manufacture.html>. Acessado em 12/05/2005.

ARTEIRA COUNTRY CLASSICS. *Aproveitamento de médio de madeira maciça e compósitos de madeira no seu beneficiamento*. 10 de outubro de 2006. Informação verbal.

AUSTRALIAN WOOD PANELS ASSOCIATION INCORPORATED. *Manufacture – Data Sheet 1*, setembro de 2001.

BIBLIOTECA PROFESIONAL E. P. S. *Tecnologia de la madera*. Barcelona - Espanha: Ediciones Don Bosco, 1971. 530p.

BINOS TECHNOLOGIES GMBH & COMPANY. *Spike Roll Former*, Disponível em: <http://www.binos.de>. Acessado 11/10/2005.

BONDUELLE, G. M. et al. *O Processo de Fabricação de Painéis Compensados no Estado do Paraná Analisado Através dos Rendimentos e dos Resíduos Gerados*. In: II Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, Curitiba – PR: 9 a 13 de setembro de 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acessado em 26/09/2006.

CALIL JR, C.; DIAS, A. A. *Utilização da madeira em construções rurais*. Revista Brasileira em Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, Brasil, v.1, p.71-77, set/dez 1997.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. *Determinação e Análise das Propriedades Físico Mecânicas de MDF Produzidos com Fibras de Espécies de Reflorestamento a Partir de Adesivo Alternativo em Três Diferentes Teores*, IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Cuibá – Julho de 2004.

CAMPOS, VERA. *Teor de sólidos da Cascamite lote L5160*. Assistência Técnica, Alba Química, 11 de agosto de 2005, informação verbal.

CARVALHO, CARLOS E. A. P. *Geração de resíduo e, utilização de MDF*. Marcenaria Toca, 06 de outubro de 2005, informação verbal.

CASSILHA, A. C. ET AL. *Indústria Moveleira e Resíduos Sólidos: Considerações para o equilíbrio ambiental*, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Disponível em: [http://www.ppgte.cefetpr/revista/vol8/artigos/re08\\_artigo13.pdf](http://www.ppgte.cefetpr/revista/vol8/artigos/re08_artigo13.pdf). Acessado em 10/11/2005.

CHAEN WEI CORPORATION. *Chipboard Screw / Drywall Screw*. [ca. 2005]. Disponível em : <http://www.allproducts.com.tw/manufacture7/cwc/01.html>. Acessado em 09/10/2006.

CHAN, TSE V. C. T.; READER, HOWARD C. *Understanding Microwave Heating Cavities*. Nrwod : Artech House Inc, 2000. 273p.

CHIPANSKI, EDIELMA R. *Secagem das fibras na “Blowline” e Coloração da Resina Uréia Formol Após a Cura*. Assistência Técnica à Fabricantes de MDF, Borden Química, 26 de junho de 2005, informação verbal.

COMMITTE ON MICROWAVE PROCESSING OF MATERIALS: AN EMERGING INDUSTRIAL TECHNOLOGY, NATIONAL MATERIALS ADVISORY BOARD, COMMISSION ON ENGINEERING AND TECHNICAL SYSTEMS, NATONAL RESEARCH COUNCIL. *Microwave processing of materials*. National Academies Press,

1994. 164p.

CONNER, ANTHONY H. *Urea Formaldehyde Adhesive Resin*. In: SALAMONE, J. C. *Polymeric Materials Encyclopedia*. Boca Raton – Florida: CRC Press, 1996, vol. 11, p. 8496-8501

COVOLATO, VANÍUS E. B. *Utilização de resíduos de marcenaria para fabricação de peças prensadas*. Junho de 2000, informação verbal.

CWC – CANADIAN WOOD COUNCIL. *Oriented Strand Board*. 2005. Disponível em : <http://www.cwc.ca/design/architetural/photos/OSB/index.php>. Acessado em 10/10/2006.

DESH, H. E.; DINWOODIE, J. M. *Timber structure, properties, conversion and use*. New York: Food Products Press, 1996. 306p.

DISKMAD MADEIRAS. *Preço de Madeira Maciça*. 17/10/2006, informação verbal fornecida pelo Sr. Nelson Reis.

DREZZA, FERNANDO M. *Tempo de quarentena para cura da resina e ambientação após resfriamento da chapa de MDF*. Assistência Técnica Duratex S.A., email recebido no dia 09 de janeiro de 2006.

DURATEX. *MDF – Manual do Usuário*. [ca. 2000].

DURATEX. *Madefibra FF*. Disponível em <http://www.duratex-madeira.com.br/folhetomdf01.htm>. Acessado em 20/09/2006.

DURATEX. *Madeplac FF*. Disponível em <http://www.duratex-madeira.com.br/folhetoaglo.htm>. Acessado em 20/09/2006.

ELEKEIROZ. *Ficha de Informações de Produto Químico – Concentrado Uréia Formol*, 23 de janeiro de 2002.

EPF – European Panel Federation. Disponível em: <http://www.mdf-info.org>. Acessado em

10/11/2005.

EPF – European Panel Federation. Disponível em: <http://www.osb-info.org>. Acessado em 10/11/2005.

ERICKSON, C. J. *Handbook of Electrical Heating for Industry*. New York: The Institute of Electrical and Electronics, Inc, 1995, 629p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 310 – Particleboards and Fiberboards – Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength*. Bruxelas, 1993.

FEIRER, J. L. *Cabinetmaking and Millwork*. 5. ed. Mission Hills, California : Glencoe Publishig Company, 1988. 992p.

FERNANDES, A. S. *Fabricação e Instalação de Rodapé*. Marcenaria Segatto, 27 de setembro de 2006. Informação verbal.

FLEURIOT, L. *Radio Frequency Glue Bond*. New Zealand : HFE – High Frequency Electronics LTD, Disponível em : [www.highfrequency.co.nz](http://www.highfrequency.co.nz). Acessado em 16/07/2006.

GALVÃO JR., F. de A.; CUNHA, C. B. da. *Modelagem Matemática do Problema de Coleta de Resíduos de Biomassa de Madeira para Fins Energéticos*. São Paulo – SP : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Transportes. [ca. 2000].

GATTO, D. A. et al. *Qualidade da Madeira Serrada na Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul*. *Ciência Florestal*, v. 14, n. 1, 2004, p. 223-233.

GLUED LAMINATED TIMBER ASSOCIATION. Disponível em : <http://www.glulam.co.uk>. Acessado em 16/07/2006.

GOLDEMBERG, J. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. 2. ed. São Paulo – SP : Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 1998. 234p.

GORINI, A. P. F. Panorama do Setor Moveleiro no Brasil, com Ênfase na Competitividade Externa a Partir do Desenvolvimento da Cadeia Industrial de Produtos Sólidos de Madeira. BNDES Setorial, n° 8, Rio de Janeiro : BNDES, setem

MASISA. *Catálogo de produtos Masisa*, julho de 2004.

MASISA. *MDF*. Disponível em : <http://www.masisa.com.br>. Acessado em 19/09/2005.

MASISA. *Painel Estrutural OSB – Recomendações Práticas*. Ponta Grossa – Paraná. Edição 2003. Disponível em : <http://www.masisa.com.br>. Acessado em 17/06/2005.

MAYS, S. L. *A Practical Comparison of Moisture Measuring Systems*, Electronic Wood Systems, Ligna 2005, Hannover, Alemanha, maio de 2005.

MENDES, L. M. ET AL. *Avaliação do Sistema de Orientação de Partículas na Produção de Painéis de OSB – Oriented Strand Board*. Cerne, v. 6, n. 1, pg 1 – 8, 2000.

MENDES, L. M. ET AL. *Produção de Compensados a Partir da Produção de Lâminas por Tornos Laminadores*. Revista Remade, setembro 2003. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acessado em 26/09/2006.

METAXAS, A. C. *Foundations of Electroheat*. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 1996, 500p.

METAXAS, A. C. ; MERIDITH. R. J. *Industrial Microwave Heating*, Peter Pelegrinus, 1992.

METSO. *PANEBOARD*. Disponível em: <http://www.metsopanelboard.com>. Acessado em 16/06/2005.

MEYER, B. *Urea-Formaldehyde Resin*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1979.

MILLAR, R. *Understanding Physics*, London, Collins Educational, 1989, 378p.

NÉRI, ANTÔNIO CARLOS. *Avaliação do Rendimento de Madeira Serrada de Pinus*. Curitiba – PR : Revista Remade ed. 88, março de 2005.



NIEM – Núcleo de Inteligência Econômica e de Mercado. *Painéis de Madeira Compensada*. São Paulo – SP: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponível em: <http://niem.ipt.br/ipt/SubNivel.asp?codtema=8>. Acessado em 26/09/2006.

PLACAS DO PARANÁ. *Okafibra – Manual técnico*, Disponível em: [www.placas.ind.br](http://www.placas.ind.br). Acessado em 10/11/2005.

PLACAS DO PARANÁ. Placas – O melhor aglomerado – *Manual técnico*, Disponível em: [www.placasaglomerado.com.br](http://www.placasaglomerado.com.br). Acessado em 10/11/2005.

PLT – LOUISIANA PROJECT LEARNIG TREE. *Roy O. Martin OSB/Saewmill Tour*. 2001. Disponível em: <http://www.laplt.org/hottopics/techertour/2001/thrusday.htm>. Acessado em 26/09/2006.

PRAT, R. *Propriétés Mécaniques du Bois*. Biologie et Multimédia – Université Pierre et Marie Curie – UFR de Biologie. 31/03/2005. Disponível em: <http://www.snv.jussieu.fr/bois/08-mecanique.htm>. Acessado em 09/10/2006.

RADIOBRÁS. *Madeira-Plástico é o Mais Recente Produto Desenvolvido pelo Ibama*. Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Informativo Semanal da Radiobrás. 2000. Disponível em : [http://www.radiobras.gov.br/ct/2000/materia\\_100300\\_1.htm](http://www.radiobras.gov.br/ct/2000/materia_100300_1.htm). Acessado em 01/08/2005

REIS, NELSON. *Extração, secagem e mercado varejista de madeira maciça..* São Paulo : Diskmad Madeiras. 21 de setembro de 2006, informação verbal.

REMADE. *História e Evolução da Madeira Compensada no Brasil*. Revista Remade, julho de 1999. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acessado em 26/09/2006.

REMADE. *Processo produtivo de chapa de fibra de média densidade*. Revista Remade, edição 71, maio 2003. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acessado em 17/08/2005.

REMADE. *Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF*. Revista Remade, edição 84, outubro de 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acessado em 17/08/2005.

REMADE. *Secagem de Madeira*. Revista Remade, edição 68, dezembro de 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acessado em 19/09/2006.

SCHENECTADY BRASIL. *Resina Uréia Formaldeído CR-7070*. Código Q00497, rev. 01, 09 de setembro de 2005.

SCHNEIDERMAN, B. ET AL. *Introdução à Estatística*. São Paulo : Editora Edgard Blücher Ltda, 2003, 152p.

SELLERS, Jr. T. *Wood Adhesive Innovations and Applications in North America*. Kuala Lumpur : XXI IUFRO World Congress, August 2000.

SENISE, J. T. *Principais Estudos Sobre Radiações não Ionizantes, à Luz das Recomendações da Organização Mundial da Saúde*, Instituto Mauá de Tecnologia, Palestra Belo Horizonte, 18 de novembro de 2004.

SENISE, J. T.; JERMOLOVICIUS L. A. *Microwave Chemistry – A Fertile Field for Scientific Research and Industrial Applications*, <http://www.jmo.ene.unb.br>, Journal of Microwaves and Optoelectronics, Vol. 3, n° 5, July 2004.

SEYFARTH, R.; LEIKER, M.; MOLLEKOPF, N. *Continuous Drying of Lumber in a Microwave Vacuum Kiln*, 8<sup>th</sup> International IUFRO Wood Drying Conference -2003.

SHACKELFORD, J. F. *Introduction to materials science for engineers*. 4. ed. New Jersey : Prentice Hall, 1996.

SMITH, W. F. *Princípios de ciência e engenharia de materiais*. 3. ed. Portugal : McGraw-Hill, 1998.

STAVISKI, N. *Klabin Investe R\$ 300 Milhões em Geração de Energia*. São Paulo – SP : Gazeta Mercantil, pág. C-4, 15 de setembro de 2006.

STRATEGIS. *Wood-Based Panel Products Technology Roadmap*. Disponível em:

<http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/infi-if.nsf/en/fb01137e.html>. Acessado em 12/05/2005.

TAFISA. Disponível em: <http://www.tafisa.com.br>. Acessado em 10/11/2005.

TAFISA. *Livro Técnico – Aglomerado de partículas*, outubro de 1995.

TEIXEIRA, D. E. ET AL. *Aglomerados de Bagaço de Cana de Açúcar: Resistência Natural ao ataque de Fungos Apodrecedores*. Scientia Florestalis, n. 52, p. 29-34, dezembro de 1997.

TORGOVNIKOV, G.; VINDEN, P. *Effect of Intensive Microwave Radiation on Wood Structure*, School of Forestry, University of Melbourne, Australia, [ca. 2001]. Disponível em <http://www.mwwood.unimelb.edu.au>. Acessado em: 10/09/2003.

TORGOVNIKOV, G.; VINDEN, P. *Microwave Method for Increasing the Permeability of Wood and its Applications*, School of Forestry, University of Melbourne, Australia, [ca. 2001]. Disponível em <http://www.mwwood.unimelb.edu.au>. Acessado em: 10/09/2003.

TORGOVNIKOV, G.; VINDEN, P.; MAPANDA, E.; COBHAM, P. *The Application of Microwaves for the Preservative Treatment of Wooden Posts*, School of Forestry, University of Melbourne, Australia, [ca. 2001]. Disponível em <http://www.mwwood.unimelb.edu.au>. Acessado em: 10/09/2003.

VALENÇA, ANTÔNIO C. V., ET AL. *Caracterização e usos do MDF*, Disponível em : [www.remade.com.br](http://www.remade.com.br). Acessado em 17/08/2005.

VOLLMERT, BRUNO. *Polymer Chemistry*. New York : Springer-Verlag New York Inc., 1973, 652p.

WAGNER, W. H. *Modern Carpentry*, Illinois : The Goodheart-Willcox CO., Inc., 1983, 592p.

WEBSTER, A. L. *Applied Statistics for Business and Economics*, Second Edition, Richard D. Irwin, INC., 1995, 1047p.

WIKIPEDIA. *Imagem* : *Taxus\_wood.jpg*. 5/11/2004. Disponível em : [http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Taxus\\_wood.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Taxus_wood.jpg). Acessado em 10/10/2006.

WILKINSON, N. *Microwaves and Wood Processing*. Melborn : University of Melborn - Fact Sheet - Cooperative Research Centre of Wood Innovations, 2004. Disponível em : [www.crcwood.unimelb.edu.au](http://www.crcwood.unimelb.edu.au).

YAMANAKA, Y.; SHINOZUKA, T. *Statistical Parameter Measurement of Unwanted Emission From Microwave Ovens*. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Atlanta, 1995, pp. 57-61.

## GLOSSÁRIO

- A -

### **Aglomerado**

Chapa composta de partículas de madeira unidas por resina sintética, através de calor e pressão.

- C -

### **Capa do compensado**

A capa do compensado consiste nas duas lâminas externas da chapa de compensado. Estas lâminas podem ser da mesma madeira do miolo do compensado, ou de outra madeira. Normalmente essas lâminas são de qualidade superior, não podendo existir defeitos de emenda ou falhas na lâmina causando depressões no plano da chapa. Os defeitos de emenda ou falhas na lâmina, quando presentes na chapa, são preenchidos com massa, e esta chapa passa a ser classificada como compensado de segunda linha.

### **Cavidade de microondas**

Espaço delimitado por paredes de metal, onde um material interage com um campo de microondas.

### **Chapa de madeira reconstituída**

As chapas de madeira reconstituída podem ser o compensado de madeira, o MDF - Medium Density Fiberboard, o aglomerado e o OSB – Oriented Strand Board.

### **Cola branca**

Resina PVA – polivinil acetato.

### **Compensado revestido**

Compensado onde a capa não é da mesma madeira do miolo. Este compensado é normalmente utilizado por pequenas marcenarias, que não possuem prensas para aplicação de folha de madeira.

**Costaneira**

Parte do tronco de uma árvore descartada no desdobro da madeira, composta da casca e do alburno.

- D -

**Delaminação de compensado**

Descolagem das lâminas que formam o compensado. É causada pela má colagem das lâminas no processo produtivo ou pela absorção de umidade.

**Desdobro**

É o processo, pelo qual toras de árvores são transformadas em pranchas ou peças menores de madeira, através de processo de corte.

- E -

**Entarugamento**

Estrutura de madeira aplicada à parede, como base para a aplicação de painéis de madeira de revestimento. Esta estrutura tem como função afastar o painel da parede, por motivos técnicos e arquitetônicos. Como exemplo de motivos técnicos, o afastamento é feito para evitar o contato do painel com a umidade da parede, e permitir a passagem de tubulações entre a parede e o painel. Como exemplo de motivo arquitetônico, o painel é afastado da parede para a instalação de iluminação indireta.

- F -

**Folha de madeira**

Lâmina de madeira.

- M -

**Madeira verde**

No ramo da marcenaria se diz que a madeira está verde quando ainda está úmida, ou seja, não atingiu o ponto de equilíbrio de umidade com o meio ambiente. Este ponto de equilíbrio varia

entre 12% a 18% de massa de água em relação à massa da madeira. O ponto de equilíbrio varia de acordo com a umidade relativa do local que a madeira será utilizada e a época do ano. Na cidade de São Paulo o ponto de equilíbrio está entre 13% e 14%.

### **MDF**

Medium Density Fiberboard. Chapa de média densidade composta de fibras lignocelulósicas unidas por resina sintética, através de calor e pressão.

- O -

### **OSB**

Oriented Strand Board. Chapa composta por partículas longas, largas e finas, com direção orientada na formação do colchão, unidas por resina à prova de umidade e parafina, através de pressão e calor.

- T -

### **Tabique**

Pequenos sarrafos de madeira utilizados para fazer o espaçamento entre pranchas de madeira, permitindo a circulação de ar.

### **Tamboreamento**

Processo para a construção de painéis com espessura superior a 20 mm, composto por duas placas de compensado, aglomerado, ou MDF, e miolo composto de sarrafos fabricados de madeira maciça ou de placas de compensado, aglomerado, ou MDF.

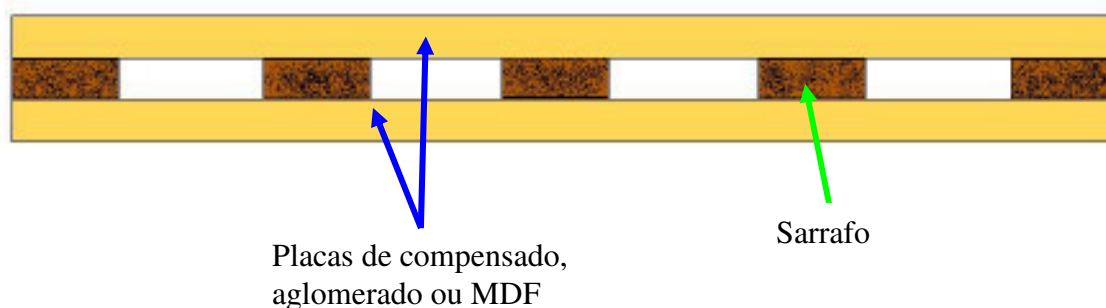


Figura G1 – Representação gráfica do tamboreamento.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)