

DALTON LUIZ RAZERA

**ESTUDO SOBRE AS INTERAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DO
PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS E
PRODUTOS MOLDADOS DE MADEIRA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de "Doutor em Ciências Florestais", área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA
2006

DEDICATÓRIA

A meus pais Adriano Razera e Daltiva Pontarolli Razera pela educação, oportunidade do estudo e eterno amor.

A minha esposa Maivilis Razera e filhas Aimée Razera e Lizzie Razera pela incansável compreensão.

DEDICO ESTA PESQUISA

AGRADECIMENTOS

Aos professores do curso: ao Prof. Setsuo Iwakiri pela orientação deste trabalho, à Coordenadora Profa. Graciela Muniz, Prof. Jorge Matos, Prof. Umberto Kock, Prof. Marcio Rocha, Prof. Arnaud Bonduelle, ao Secretário Reinaldo de Souza e Técnicos Ademir Cavali e Dionei Machado pela atenção e préstimos.

Ao Prof. Henrique Koelher pela orientação em análise estatística.

Aos colegas Prof. Aguinaldo dos Santos pela troca de experiência e apoio, Prof. Humberto Boguswzeski e Prof. Airton Gonçalves Junior pela amizade especial.

Ao Prof. Dr. Arnoufo de Carvalho Neto pelos préstimos por ocasião da tomografia computadorizada.

A ex-Diretora Profa. Silvia Araújo, pela amizade e apoio.

Aos colegas Cláudio Pereira, Daniel Chies, Fábio Yamaji.

Às empresas: Borben Química, pelas amostras de adesivos por parte de Edielma Chipanski, Waldir Chella, Ângelo Valério, Milton Campos, Mario de Andrade. Empresa Synteko, pela amostra de adesivo por parte de Eduardo. Empresa Inbrasfama, pela amostra de farinha de madeira por parte de Antonio Baldan, Marlene e Tatiana Baldan. Empresa Mega Box, na confecção do molde por parte de Aguilar Selhorst jr. Empresa Masisa, pela amostra de fibra por parte de Daniel Sacks. Empresa PolyBlu por parte de Edinei.

Ao Departamento de Design pela oportunidade.

À Universidade Federal do Paraná pela universalidade do conhecimento.

BIOGRAFIA

DALTON LUIZ RAZERA, filho de Adriano Razera e Daltiva Pontarolli Razera, nasceu em Curitiba, Estado do Paraná, em 07 de dezembro de 1954.

Sua formação acadêmica, sempre através do ensino público e gratuito inclui:

Ensino primário no Grupo Escolar Conselheiro Zacarias de 1962 a 1965.

Ginasial no Ginásio Estadual República Argentina de 1966 a 1969.

Técnico em Edificações na Escola Técnica Federal do Paraná de 1970 a 1973.

Graduação em Comunicação Visual na Universidade Federal do Paraná 1975 a 1978.

Aperfeiçoamento em Licenciatura para professor de ensino técnico no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná de 1984 a 1985.

Especialização em Teoria Geral do Signo na UFPR em 1987.

Especialização em Design Industrial na JIDPO/JICA em Tóquio Japão 1989.

Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas na Universidade Federal de Santa Catarina de 1992 a 1994.

Além da formação acadêmica trabalhou três anos como auxiliar administrativo em empresa de representação comercial, Representações Fialho Ltda. de 1972 a 1974 e, também, quatro anos como sócio da empresa de Razera's Desenhos de 1975 a 1978.

Atuou onze anos como Professor do Ensino Técnico de Desenho Industrial no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná de 1977 a 1988. Trabalha desde 1979 como Professor de Graduação do Curso de Desenho Industrial na Universidade Federal do Paraná tendo, nesse período, atuado quatro anos como Coordenador do Curso de Desenho Industrial (1988 a 1991) e dois anos como Chefe do Departamento de Artes (1995 a 1997).

Entre 1998 e 2002 foi vice-Diretor do Setor de Ciências Humanas Letras e Artes da UFPR. Desde 1997 desenvolve projetos de extensão na Região de Guaraqueçaba – PR, junto às comunidades de Salto Morato e Ilha Rasa. E, desde 2003 vem atuando como professor pesquisador do Núcleo de Design & Sustentabilidade do Departamento de Design da UFPR.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XI
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	2
1.2 HIPÓTESE	3
1.3 JUSTIFICATIVA	4
1.3.1 DIMENSÃO TECNOLÓGICA	4
1.3.2 DIMENSÃO AMBIENTAL	5
1.3.3 DIMENSÃO ECONÔMICA.....	6
1.4 MÉTODO E ESTRUTURA DA PESQUISA	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 PRODUTOS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA.....	11
2.1.1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS E ECONÔMICOS.....	12
2.1.2 ASPECTOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE.....	13
2.2 MATÉRIA – PRIMA	15
2.2.1 MADEIRA	15
2.2.1 ADESIVOS PARA MADEIRA	19
2.2.1.1 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS ADESIVOS	19
2.2.1.2 PROCESSO DE SELEÇÃO DE ADESIVOS.....	23
2.2.2 ADITIVOS QUÍMICOS.....	24
2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA .	25
2.3.1 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA	25
2.3.1.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE PAINÉIS DE MADEIRA.....	25
2.3.1.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DE MADEIRA.....	28
2.3.1.3 PROCESSO DE PREPARAÇÃO DA MADEIRA E FORMAÇÃO DE PRODUTOS RECONSTITUIDOS DE MADEIRA.....	30
2.3.1.4 PAINÉIS LAMINADOS	34
2.3.1.5 PAINÉIS PARTICULADOS	37
2.3.1.6 PAINÉIS DE FIBRAS	45
2.3.2 PRODUTOS MOLDADOS DE MADEIRA.....	48
2.3.2.1 PROCESSOS DE MOLDAGEM	49
2.3.2.2 EXTRUSÃO E INJEÇÃO.....	57
2.3.2.3 MOLDES	58
2.3.2.4 FASES DO PROCESSO DE MOLDAGEM	60
2.4 UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS MOLDADOS DE MADEIRA	61
3 MATERIAIS E MÉTODOS	67
3.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA.....	67
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	69
3.3 METODOLOGIA DE FABRICAÇÃO DOS PRODUTOS	72
3.3.1 FASE 1 - EXPERIMENTO PRELIMINAR	72
3.3.2 FASE 2 - EXPERIMENTO PRINCIPAL.....	73
3.3.2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	74
3.3.2.2 QUANTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DAS CHAPAS.....	74

3.3.2.3	FABRICAÇÃO DAS CHAPAS	76
3.3.3	FASE 3 - EXPERIMENTO COMPLEMENTAR.....	78
3.4	PROCEDIMENTOS PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	80
3.4.1	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	80
3.4.2	ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS	83
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	87
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4.1	RESULTADOS.....	88
4.1.1	FASE 1 - EXPERIMENTO PRELIMINAR	88
4.1.1.1	DISCUSSÃO DA FASE PRELIMINAR	96
4.1.2	FASE 2 - EXPERIMENTO PRINCIPAL	96
4.1.2.2	ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS	101
4.1.2.3	DISCUSSÃO DA FASE PRINCIPAL.....	113
4.1.3	FASE 3 - EXPERIMENTO COMPLEMENTAR	114
4.1.3.1	PRODUTO MOLDADO 1 (GAVETA)	114
4.1.3.2	PRODUTO MOLDADO 2 (CAIXA)	120
4.1.3.3	SIMULAÇÃO DA PREDIÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS	123
4.1.3.4	DISCUSSÃO DA FASE COMPLEMENTAR.....	126
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	127
5.1	CONCLUSÕES	127
5.2	RECOMENDAÇÕES.....	129
	REFERÊNCIAS	130
	ANEXOS	136

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIAGRAMA DA ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	9
FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA	27
FIGURA 3 - ESTRATIFICAÇÃO PRIMÁRIA DE ELEMENTOS DA MADEIRA	28
FIGURA 4 - DISCOS DO DESFIBRADOR TIPO "ASPLUND" NO LABORATÓRIO DE PAINÉIS DA UFPR	32
FIGURA 5 - "FARINHA DE MADEIRA" INBRASFAMA	33
FIGURA 6 - INTERAÇÕES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES E QUALIDADE DAS CHAPAS	38
FIGURA 7 - ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM A QUENTE	49
FIGURA 8 - DIAGRAMA GERAL DOS PROCESSOS DE MOLDAGEM	50
FIGURA 9 - ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM RTM	54
FIGURA 10 - ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM A VÁCUO.....	56
FIGURA 11 - MÓVEIS MACIÇOS DO ARTS & CRAFTS	62
FIGURA 12 - CADEIRA MICHAEL THONET, 1859	62
FIGURA 13 - MÓVEIS DE MADEIRA CURVADA	63
FIGURA 14 - CADEIRAS DA BAUHAUS	64
FIGURA 15 - PRODUTOS ELETRÔNICOS COM MADEIRA.....	64
FIGURA 16 - PRODUTOS ATUAIS DE MADEIRA MOLDADA	65
FIGURA 17 - PRODUTOS MOLDADOS DE FIBRAS E PARTÍCULAS DE MADEIRA.....	65
FIGURA 18 - NOVOS MATERIAIS A BASE DE FIBRAS DE MADEIRA.....	66
FIGURA 19 - ESQUEMA CONCEITUAL DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	67
FIGURA 20 - TECIDO DE SISAL	70
FIGURA 21 - MOLDE 1 COM DETALHE DA FURAÇÃO	71
FIGURA 22 - MOLDE 2 EM ALUMÍNIO USINADO POR PROTIPAGEM RÁPIDA.....	72
FIGURA 23 - ENCOLADEIRA TIPO TAMBOR ROTATÓRIO.....	77
FIGURA 24 - PRENSA PILOTO SIEMPELKAMP.....	78
FIGURA 25 - ESQUEMA DO MÉTODO DE Prensagem MOLDE 1	79
FIGURA 26 - ESQUEMA DO MÉTODO DE Prensagem MOLDE 2	80
FIGURA 27 - POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA NA CHAPA	81
FIGURA 28 - POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DO MOLDE 1.....	82
FIGURA 29 - POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DO MOLDE 2.....	82
FIGURA 30 - ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	83
FIGURA 31 - ENSAIO DE LIGAÇÃO INTERNA	85
FIGURA 32 - ENSAIO DE COMPRESSÃO	85
FIGURA 33 - IMAGENS TOMOGRÁFICAS DA SEÇÃO DE UM CORPO DE PROVA DE MADEIRA.....	86
FIGURA 34 - MOLDE EM CIMENTO E AREIA.....	88
FIGURA 35 - MOLDAGEM COM FIBRAS DE PINUS E ADESIVO DE CONTATO.....	89
FIGURA 36 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO	90
FIGURA 37 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO COM RESÍDUOS DE SERRARIA	91
FIGURA 38 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO DE RESÍDUOS DE MADEIRA	92
FIGURA 39 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO COM RESÍDUOS DE MADEIRA CAMBARA"....	93
FIGURA 40 - MOLDE DE ALUMÍNIO FUNDIDO.....	94
FIGURA 41 - MOLDAGEM A QUENTE EM COLCHÃO DE FIBRA ENCOLADA	94
FIGURA 42 - MOLDE EM ALUMÍNIO USINADO POR PROTIPAGEM RÁPIDA.....	95
FIGURA 43 - ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E MÓDULO DE ELASTICIDADE	105
FIGURA 44 - ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E MÓDULO DE RUPTURA.....	105
FIGURA 45 - ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E COMPRESSÃO PARALELA.....	106
FIGURA 46 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOE.....	107
FIGURA 47 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOE	108
FIGURA 48 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOR	109
FIGURA 49 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOR.....	109

FIGURA 50 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA CP	110
FIGURA 51 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA CP.....	111
FIGURA 52 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA LI	112
FIGURA 53 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA LI.....	112
FIGURA 54 - PRODUTO MOLDADO COM MOLDE 1 (GAVETA)	115
FIGURA 55 - SECÇÃO TRANSVERSAL DA PEÇA DO MOLDE 1 (GAVETA)	116
FIGURA 56 - VARIAÇÃO DA DENSIDADE NOS PLANOS DOS EIXOS VERTICAL E HORIZONTAL DA GAVETA (g/cm ³).	116
FIGURA 57 - IMAGENS DA TOMOGRAFIA DA GAVETA.....	118
FIGURA 58 - DETALHE DA IMAGEM.....	118
FIGURA 59 - IMAGEM EM ALTOCONTRASTE.....	119
FIGURA 60 - PLOTAGEM DO DETALHE DO GRADIENTE DA DENSIDADE (PARTE CURVA)	120
FIGURA 61 - PRODUTO MOLDADO COM MOLDE 2 (CAIXA).....	121
FIGURA 62 - DISTRIBUIÇÃO DAS DENSIDADES DA CAIXA (g/cm ³).....	121

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DIMENSÕES DOS ELEMENTOS DE MADEIRA	29
TABELA 2 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA MOLDAGEM	53
TABELA 3 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	74
TABELA 4 - VALORES MÉDIOS DE MOR E MOE EM FLEXÃO ESTÁTICA E ME.....	97
TABELA 5 - VALORES MÉDIOS DA COMPRESSÃO PARALELA	98
TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA	100
TABELA 7 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE X MASSA ESPECÍFICA.....	103
TABELA 8 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO MÓDULO DE RUPTURA X MASSA ESPECÍFICA	103
TABELA 9 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO COMPRESSÃO PARALELA X MASSA ESPECÍFICA.....	104
TABELA 10 - GRADIENTE DE DENSIDADE NOS EIXOS HORIZONTAL E VERTICAL DA GAVETA (MOLDE 1).....	117
TABELA 11 - GRADIENTE DE DENSIDADE NOS EIXOS HORIZONTAL E VERTICAL DA CAIXA (MOLDE 2)	122
TABELA 12 - SIMULAÇÕES DAS PREDIÇÕES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS (GAVETA).....	124
TABELA 13 - SIMULAÇÕES DAS PREDIÇÕES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS (CAIXA)	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	- Adesivo Líquido
AS	- Adesivo Sólido
ASTM	- American Society for Testing and Materials
CL	- Catalisador Líquido
CP	- Compressão Paralela
CS	- Catalisador Sólido
EM	- European Norma
FF	- Fenol Formaldeído
HDF	- Hard Density Fiberboard
JICA	- Japan International Cooperation Agency
JIDPO	- Japan Industry Design Promotion Organization
LI	- Ligação Interna
MDF	- Medium Density Fiberboard
ME	- Massa Específica
MF	- Melanina Formaldeído
MOE	- Módulo de Elasticidade
MOR	- Módulo de Ruptura
MUF	- Melanina Uréia Formaldeído
PVAc	- Poliacetato de Vinila
UF	- Uréia Formaldeído

RESUMO

O presente trabalho trata de estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados, fabricados com partículas de madeira de *pinus spp.* industrializada, denominada comercialmente de "farinha de madeira". Os produtos moldados foram produzidos em escala laboratorial com mistura de partículas de madeira com adesivo, em moldes de alumínio com a aplicação de pressão e temperatura. A pesquisa foi desenvolvida em três fases, sendo elas: 1. Fase preliminar, onde se realizou exercício empírico sobre os materiais para determinar parâmetros de moldagem; 2. Fase principal, onde foram avaliados os parâmetros de produção de aglomerados em escala laboratorial. Nesta fase o melhor resultado obtido foi para o tratamento com 20% de resina melamina-uréia-formaldeído (MUF); 3. Fase complementar, onde se utilizou o melhor tratamento obtido na fase anterior para fabricação de produtos moldados. Na moldagem, empregaram-se dois processos de formação de colchão em moldes de alumínio e com diferentes características geométricas para produção de aglomerados moldados. As peças moldadas foram analisadas com base na uniformidade dos perfis horizontal e vertical de densidade e correlacionadas com as propriedades de módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática, compressão paralela e ligação interna através da análise de regressão linear. Experiências com tomografia computadorizada, foram executadas para observação visual do gradiente de densidade em teste não destrutivo da peça. Com a aplicação da equação de regressão obtida na fase principal, foi realizada a simulação da resistência das peças moldadas.

Palavras Chave: Produtos Moldados, Partículas de Madeira, Design Sustentável.

ABSTRACT

The present work studies the process of producing 3D molded wood products. The raw material investigated is industrialized wooden dust, which is commercially as "wooden flour". The 3D molded wood products were manufactured in laboratorial scale using wooden flour mixed with adhesive. The process adopted aluminum dies with the simultaneous application of pressure and temperature. The research was developed in three phases. The first phase consisted of an exploratory case study that focused on the usage of different composition of materials in order to determine molding parameters. The second phase established the research protocol for the laboratorial experiments focusing on statistical generalization using a combination of structural, product and material variables. The study showed that optimum results, from a structural point of view were obtained using a composite with 20% of resin melamine-urea-formaldehyde (MUF). Finally, on the third phase of this research a case study was developed using the results of the previous phase regarding the composite characteristics. The molding process in this case study investigated the characteristics of vertical and horizontal composite layers on large and small objects using aluminum die on hot temperature. The analysis focused on the uniformity of the horizontal and vertical layers regarding its density and correlating this variable through linear regression with material properties such as elasticity module and rupture module in flexure and parallel compression. The researcher carried out further non-destructive tests with computerized tomography in order to visually identify the pattern of density across the composite. This test showed that the density was higher on the horizontal layers, which helped to support the findings on the destructive tests. The combined results of this research provide information and a method that can help wood engineers and designers to foresight structural resistance of a 3D product based on the material characteristics associated with the molding process. Such information, allied to the implications of the product format can enable a more efficient usage of wood as a material for product design.

Keywords: Wood Particle Molded, Wood-Flour, Design Sustainable.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho trata do estudo sobre o processo de fabricação de produtos moldados com partículas de madeira de *Pinus spp.* A utilização dessa espécie deve-se ao fato de que a mesma tem sido bastante estudada visando a obtenção de fibras e partículas de madeira para fabricação de papel, painéis, etc. Os resíduos são também aproveitados na fabricação desses produtos, tais como a "farinha de madeira", resultante da industrialização de resíduos de serraria e incorporada como carga para diversos produtos.

As espécies de *Pinus* (*elliottii* e *taeda*) são apresentadas amplamente em trabalhos científicos no que se refere à produção de madeira sólida e reconstituída, e seu uso já é consolidado no meio industrial.

Na composição dos produtos moldados de madeira, pretende-se utilizar além de resina termofixa uma resina termoplástica à base d`água. O uso de resina termoplástica nesta pesquisa, tem como finalidade buscar um adesivo com baixa emissão de gás, evitando prejuízos à saúde e que seja viável economicamente na moldagem.

Considerando a demanda da indústria de produtos moldados e a necessidade de maior conhecimento científico sobre a fabricação desses produtos, este trabalho se concentra nas experiências de moldagem de peças com ângulos e curvas diferentes para avaliar a formação do colchão gerado pelo compósito em relação às espessuras e densidades diferentes.

A seleção do processo de moldagem por compressão surge aqui, como um caminho alternativo, visto que as tendências observadas em pesquisas atuais apontam forte ênfase no "plástico/madeira", com a utilização do processo de extrusão para elaborar a mistura das matérias-primas, plástico e "farinha de madeira" e, posteriormente, a moldagem das peças em injetoras para plástico. Entretanto, nesta pesquisa pretende-se utilizar a madeira não como "carga" mas como material

estrutural num percentual bastante elevado de material fibroso, fibras ou partículas.

O compósito será aplicado em moldes que possibilitem a investigação do aspecto relevante quanto ao objetivo desta pesquisa, isto é, testar em moldes, produtos que apresentem ângulos diversos, planos, retos e curvos e espessuras diferentes. Para a definição destas características a serem testadas, foi realizada uma pesquisa junto ao setor moveleiro para identificar os aspectos necessários de aperfeiçoamento no que tange a interface design versus manufacturabilidade. Foi, portanto, identificada a gaveta como sendo um bom exemplo para o estudo de caso, pois se trata de uma peça que apresenta uma certa complexidade em sua execução e onde produtos moldados de madeira poderiam contribuir quanto à melhoria da produtividade e qualidade.

1.1 OBJETIVO

Realizar um estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados, fabricados com partículas de madeira de *pinus spp.*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- a) Determinar diretrizes para o projeto e fabricação de produtos não planos produzidos a partir de pequenas partículas de madeira (gênero *pinus*) e adesivos, conformado por compressão a quente ou a frio, de maneira a obter a máxima performance estrutural;
- b) Avaliar os efeitos do ciclo de prensagem e uso de adesivos termofixo e termoplástico em diferentes níveis nas propriedades mecânicas de painéis aglomerados produzidos com partículas de granulometria fina do tipo "farinha de madeira";

- c) Estudar a correlação entre a densidade e as propriedades mecânicas das chapas, visando a predição das propriedades de resistência do aglomerado moldado através das equações de regressão linear;
- d) Desenvolver estudos de caso em componente para o setor mobiliário, com diferentes características geométricas (ângulos, curvas e espessuras) produzidos em moldes de alumínio através de processo de compressão.

1.2 HIPÓTESE

As hipóteses trabalhadas nesta pesquisa foram:

- a) Os estudos deverão revelar se produtos moldados à base de compósitos de “farinha de madeira” e adesivo termoplástico ou termofixo requerem maior densidade, e formação de colchão tecido (trama ou entrelaçada).
- b) Os experimentos deverão mostrar se mesmo para ângulos de 60° as peças não planas moldadas com “farinha de madeira” e adesivo termoplástico por compressão a frio terão resistência estrutural adequada para uso.
- c) Se a utilização de colchões de “farinha de madeira” com espessuras constantes resultam em densidades homogêneas quando moldados em produtos não planos, obtidos por compressão.
- d) Os resultados do experimento deverão mostrar se nas superfícies curvas de raio menor há a necessidade de composição com filmes (tecido) nas superfícies do colchão para que se obtenha a densidade homogênea em toda a peça.

1.3 JUSTIFICATIVA

1.3.1 Dimensão Tecnológica

A indústria do setor moveleiro vem utilizando como matéria-prima principal painéis de madeira, isto é, produtos planos. Via de regra, esses painéis são cortados em peças para confecção de componentes para a fabricação de móveis. O empenho pela melhoria do projeto e produção desses produtos tem incluído desde a automatização dos processos até a substituição da madeira por outros materiais. Contudo, a madeira tem se mantida competitiva em relação a outros materiais substitutos, dado suas características estéticas, sua resistência estrutural, manufaturabilidade e vantagens ambientais que oferece.

A indústria da madeira, de maneira geral, vem substituindo produtos de madeira sólida por produtos de madeira reconstituída obtida a partir de árvores de menor diâmetro e, também, de resíduos provenientes de outras indústrias de processamento mecânico. Tem-se utilizado também lâminas espessas coladas para fabricação de vigas, lâminas finas para o compensado, painéis com partículas e, mais recentemente, o uso das fibras na fabricação de painéis, MDF, HDF, etc. Com este novo portfólio de produtos e processos de produção o setor tem reduzido drasticamente o volume de desperdício (MARRA 1979).

Na medida em que ocorre a redução do tamanho dos elementos que constituem os produtos de madeira reconstituída aumenta a sua homogeneidade e isotropia. Ao nível da tecnologia das fibras, o novo cenário no setor da madeira vem permitindo uso de grande variedade de fibras de espécies diferentes. Quanto menor o tamanho das partículas, maior é a facilidade para se eliminar eventuais defeitos da madeira, ou redistribuí-los de maneira a reduzir seus efeitos nas propriedades do produto final (ROWELL 1998).

Mais recentemente, além de formar chapas planas, a madeira tem sido utilizada para fabricar produtos moldados (não planos). As fibras de

madeira vêm sendo utilizadas como componentes para formar perfis complexos através da moldagem. A fibra tecida, com sua tecnologia possibilita a moldagem de inúmeras combinações geométricas. Aplicação dessa tecnologia depende do desenvolvimento de uma trama de fibras na qual manterá sua integridade física para formar um produto final. O “tecido de fibras lignocelulósicas” pode ser feito por entrelaçamento físico, agrupando-se as fibras com as resinas. Durante a formação da trama um adesivo pode ser aplicado na moldagem por termo-compressão. O adesivo pode ser termofixo ou termoplástico dependendo das características e propriedades requeridas no produto (ROWELL 1998).

Nesse contexto as possibilidades de utilização dos resíduos de madeira têm sido cada vez mais ampliadas, aproveitando as características de tamanho, forma, densidades, e até cores das fibras da madeira. A comunidade científica deverá voltar forçosamente sua atenção para a re-manufatura de alta qualidade (BioCycle Staff, 2000).

1.3.2 Dimensão Ambiental

As fibras das plantas são renováveis, disponíveis em vários locais, moldáveis, higroscópicas, recicláveis, versáteis, não abrasivas, porosas, visco-elásticas, facilmente disponíveis em muitas formas, biodegradáveis, combustíveis e reativas. A estrutura das mesmas constitui-se de um canal, laminar, com capa molecular em uma matriz integrada. As fibras têm uma alta relação entre a largura e o comprimento, e apresentam boas propriedades de isolamento (acústico, elétrico e térmico).

As propriedades das fibras de plantas podem também ser modificadas por tecnologias físicas e químicas, melhorando o desempenho do composto final.

Podem ser consideradas partes dessas propriedades os problemas como a biodegradabilidade e combustibilidade. Contudo, essas e outras propriedades das fibras de madeira oferecem também inúmeras

vantagens no projeto e fabricação de produtos que não são facilmente obtidos por meios artificiais ou através de outros materiais. Devido a essas razões, hoje, produtos feitos de fibras de plantas estão recebendo maior atenção, sendo considerados recursos ambientalmente amigáveis.

Atualmente há maior consciência no que diz respeito ao problema do crescimento do lixo urbano. As atenções têm sido voltadas em especial para os recursos não-renováveis e que freqüentemente implicam em danos permanentes à natureza. Contudo, mesmo a geração de resíduos oriundos de materiais biodegradáveis, como as madeiras, já não são mais aceitáveis na sociedade atual (ALVES, 2003). Práticas existentes em colocar esses materiais no lixo não aproveitam o grande potencial de seu uso em compósitos de madeira.

Para que os resíduos de madeira sejam efetivamente aproveitados é necessário ampliar o volume de pesquisas acerca dos materiais e processos de fabricação relacionados aos compósitos. A literatura científica na área vem demonstrando que esses compósitos têm viabilidade técnica e econômica, desde que sejam adotados procedimentos adequados, durante o processo de produção, particularmente quando da redução do tamanho das partículas e etapas de sua fabricação (ROWELL 1998). É nesse âmbito que este trabalho pretende contribuir, apresentando novo conhecimento acerca do tema, com foco nos produtos moldados, produzidos a partir de compósitos de madeira.

1.3.3 Dimensão Econômica

Considerando uma produção anual de madeira serrada de cerca de 20 milhões de metros cúbicos e um rendimento médio no processamento primário da ordem de 40%, estima-se que sejam gerados 18 milhões de toneladas de resíduos (ALVES, 2003). Segundo dados apresentados no 1º Congresso Brasileiro de Industrialização da Madeira e Produtos de Base Florestal, realizado na cidade de Curitiba em 2003, somente no município

da Cidade de Sinop, no Mato Grosso são geradas diariamente, aproximadamente 400 toneladas de resíduos de madeira.

Estima-se que o consumo global de madeira por pessoa é de 0,60 m³ / ano. Este dado leva à conclusão de que há necessidade de se desenvolver novas formas de utilizar o potencial econômico da madeira pelos próximos anos, face o enorme crescimento populacional mundial, o qual deverá alcançar a cifra de 10 bilhões de pessoas em 2040-50. Uma vez atingida esta população o planeta precisaria de 2 bilhões de m³ de madeira/ano (ALVES, 2003), o que poderá ser ambientalmente inviável. Assim, para haver uma diversificação e um melhor aproveitamento da madeira e seus derivados é necessário desenvolver novas alternativas para industrialização de produtos que venham a suprir essa demanda.

Segundo ALVES (2003), o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos de madeira na área de compostos tem obedecido a três enfoques econômicos:

- Identificação do resíduo ou de matérias-primas de baixo custo, seguido do desenvolvimento de tecnologias e processos produtivos;
- Baseado em tecnologias existentes, identificação de novos usos potenciais e aperfeiçoamento das propriedades do produto para atender os requisitos de uso;
- Identificação dos requisitos tecnológicos desejáveis e desenvolvimento de um produto que atenda as especificações utilizando-se a melhor combinação de materiais disponíveis.

De maneira concomitante à busca de alternativas para o uso mais eficiente e eficaz de fibras e partículas de madeira em painéis e chapas, também vem se buscando alternativas para a produção de formas mais complexas e com potencial de aumentar o valor agregado percebido nos produtos à base de madeira. Algumas das tecnologias mais recentes permitem utilizar partículas e fibras de madeira proveniente de resíduos através de processos como: injeção, extrusão ou moldagem por compressão em formas complexas. O uso dessas tecnologias vem

trazendo a possibilidade de utilizar a madeira em novas formas de design e projetos para aplicações antes não possíveis. É neste contexto que o presente trabalho pretende contribuir, no sentido de ampliar o impacto econômico do uso de resíduos de madeira através do estudo de sua aplicação no design de produtos moldados.

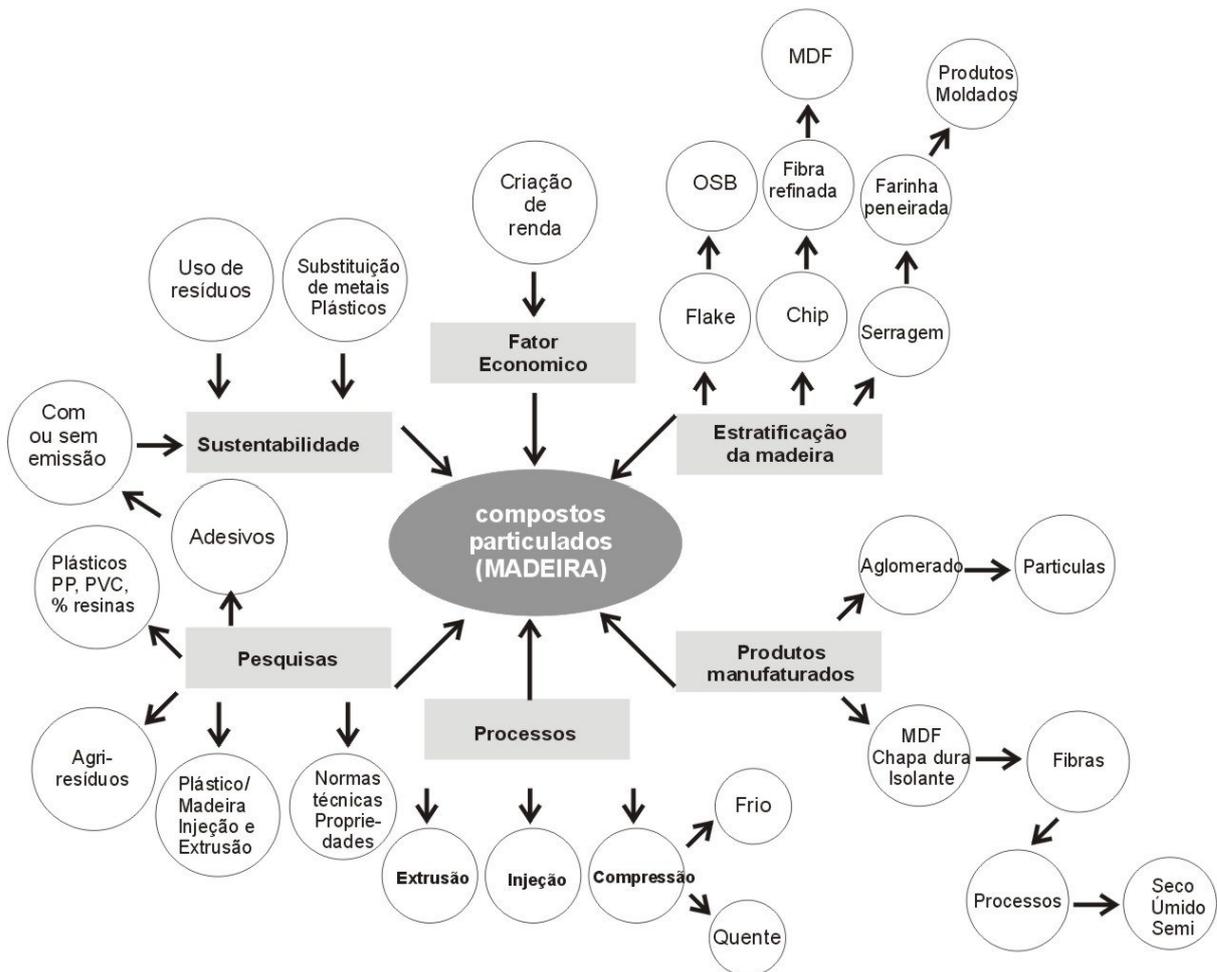
1.4 MÉTODO E ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho aborda dois aspectos principais: 1. Os estudos referentes à formulação de compósito à base de partículas de madeira; 2. Aplicação de processo de formação de colchão para moldagem de produtos.

A partir deste contexto, foram elaboradas as hipóteses para definição dos objetivos.

O diagrama da figura 1, apresenta as áreas de abrangência do estudo, envolvendo os seguintes aspectos: compostos particulados e de fibras à base de madeira; pesquisas referentes a resinas para formação dos compósitos; estratificação da madeira; formas variadas de utilização e processos com objetivo de obtenção de produtos manufaturados diversos.

FIGURA 1 - DIAGRAMA DA ABRANGÊNCIA DA PESQUISA



FONTE: Autor

O método de pesquisa foi formulado em 3 fases: fase preliminar, fase principal e fase complementar.

Na fase preliminar, a estratégia de pesquisa foi a de investigar tópicos empíricos, seguida de um conjunto de experimentos sem os procedimentos científicos, que segundo PLATT, (1992) é “uma lógica de planejamento ou uma estratégia que deve ser priorizada quando as circunstâncias e os problemas de pesquisa são apropriados, em vez de um comprometimento ideológico que deve ser seguido não importando quais sejam as circunstâncias”. Nessa fase se desenvolveu a teoria a partir da revisão bibliográfica, em seguida, os casos baseados nos objetivos desta

pesquisa foram levantados e selecionados e, por fim, projetou-se para próxima fase o protocolo de coleta de dados.

Na fase principal, a preparação dos materiais conduziu os trabalhos para o delineamento experimental proposto, tendo sido elaborados os estudos de caso. A partir desses estudos de caso, relacionaram-se os aspectos de análise de cada um dos tratamentos.

Na fase complementar, da análise e conclusão, cruzados os dados dos estudos de casos, aplicou-se a formulação do melhor resultado da fase anterior, e desenvolveu-se o protocolo de estudo dos produtos moldados. Com a elaboração das simulações de predição, foram apresentadas considerações finais e recomendações.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUTOS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA

Na era das florestas de curta rotação deve-se pensar em produtos reconstituídos para que a demanda por produtos de madeira seja plenamente suprida (MALONEY, 1993). Alinhado com essa necessidade o setor madeireiro vem ampliando o portfólio de produtos reconstituídos de madeira. Nesse mercado incluem-se aglomerados, OSB, chapas de fibras duras, isolantes e de média densidade, até peças moldadas por extrusão e injeção em compósito “plástico/madeira”. Esses produtos surgem como forma de aproveitamento de resíduos de madeira e da agricultura, seguindo uma necessidade econômica e as crescentes restrições ambientais. Tais produtos formam de maneira mais intensa a ponte entre a indústria e o laboratório, já que para o melhor aproveitamento dos materiais e melhoria das propriedades dos painéis é necessário um aporte maior de pesquisa científica (MALONEY, 1993).

Os produtos reconstituídos de madeira podem ser feitos a partir do aproveitamento de resíduos de processamento industrial (serraria, laminação etc.) com baixo valor comercial. São considerados produtos ecologicamente corretos, pois utilizam materiais descartados economicamente e, portanto, contribuem para a diminuição do impacto da produção de bens de consumo nos recursos naturais. O processo de manufatura associado à madeira consome menos energia em comparação com outros materiais derivados de recursos não renováveis.

Os produtos reconstituídos de madeira possuem algumas características desejáveis, como: produção em grandes e pequenas dimensões, superfícies lisas, uniformidade nas propriedades e no controle dos defeitos. No caso das chapas de fibras, a estrutura homogênea e isotrópica das mesmas confere vantagem técnica significativa em relação à madeira sólida. A amplitude das aplicações da madeira também

aumenta. De acordo com a sua densidade podem ser utilizadas em isolamento acústico e térmico, para revestimentos em geral, móveis, portas, paredes internas etc. (IWAKIRI, 1998).

A indústria de painéis de madeira vem ampliando e investindo em pesquisas. Hoje é possível fabricar produtos com características distintas adicionando às fibras produtos químicos, como retardantes de fogo, preservantes contra agentes xilófagos, etc. Processos alternativos começam a ganhar aplicação industrial. É o caso da moldagem por injeção de uma mistura de "plástico/madeira", geralmente obtido por extrusão, podendo conter até 60% de fibras ou "farinha de madeira". Outro exemplo de processo alternativo que já começa a se tornar comercialmente disponível é a moldagem de fibra ou partículas de madeira com resinas termofixa conformadas sobre pressão e temperatura em moldes de metal. É possível obter neste processo peças complexas altamente funcionais, furos e rebaixos gerados diretamente na moldagem e grande resistência mecânica.

2.1.1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS E ECONÔMICOS

As tecnologias utilizadas para o aproveitamento dos considerados "resíduos" de madeira vêm se ampliando cada vez mais em função dos aspectos econômicos, como forma de aproveitar melhor a matéria-prima na transformação da madeira. Atualmente, nas serrarias - a unidade produtiva onde as peças são reduzidas a partir das toras e seu dimensionamento definido com quatro lados, por exemplo (tábuas, vigas, pranchas, etc.) - o nível típico de utilização de uma tora é de apenas 50% da matéria-prima. Esse aproveitamento e seu rendimento estão relacionados principalmente aos equipamentos utilizados na serraria.

Alguns estudos demonstram a eficiência do processamento em função do diâmetro das toras, sendo que, com diâmetro acima de 60 cm obtém-se um rendimento de cerca de 60%; em diâmetros de 20 a 40 cm, o rendimento cai para cerca de 40%. Já no aproveitamento da madeira de

peças de tamanho mais curto, a partir de 50 cm de comprimento, o volume aproveitado se amplia para mais de 60% (ALVES, 2003).

Com a redução nos tamanhos dos elementos da madeira há menos perdas no processo, como por exemplo, o uso de tecnologias para produção da "farinha de madeira" em suas várias granulometrias.

Os processos tecnológicos empregados para aproveitamento de pequenos elementos de madeira, usam além da prensagem de painéis, moldagem por compressão, extrusão, moldagem por injeção. Nestes, se obtém uma produção mais econômica numa escala de menores volumes de produção de peças por tempo e redução de re-trabalho porque nos moldados pode-se eliminar a necessidade de acabamento no produto final.

Segundo Alves (2003), a tecnologia para utilização de resíduos em produtos de madeira, agregando a madeira em uma matriz termoplástica, forma o compósito "plástico/madeira", com variações das proporções de (90/10; 80;20; ...50/50... 20/80; 10/90) no produto final. Produtos estes que apresentam características híbridas, alta estabilidade dimensional e resistências mecânica e biológica.

2.1.2 ASPECTOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE

Produtos reconstituídos de madeira são considerados materiais "ambientalmente corretos", pois são manufaturados a partir de partículas e fibras de madeira, aglutinadas com resinas e/ou plásticos reciclados. Esses compostos suportam até oito ciclos de reciclagem, sem perda significativa de suas propriedades. Compostos de "plástico/madeira" quando processados são "derretidos" e tornam-se rígidos quando resfriados (ROU, 2000).

No caso do compósito de "plástico/madeira" por exemplo, a vantagem ambiental é a sua capacidade de ser moldado como plástico, ou seja, o material pode ser injetado e produzir peças sem a necessidade de acabamento superficial. Os compósitos também podem ser transformados

em lâminas e moldados com os mesmos processos utilizados para plásticos, Koenig; Sypkens (2002), apud (YAMAJI, 2004).

Por outro lado, algumas resinas utilizadas em compósitos de madeira podem provocar a emissão de gases que em ambientes fechados poderão ser prejudiciais à saúde humana. Recomenda-se portanto, usá-las em ambientes bem ventilados ou adotar um processo de acabamento nos produtos que iniba sua emissão, É o caso, por exemplo, da resina uréia-formaldeído (ROU, 2000).

Outros componentes químicos usados na manufatura de compósitos de madeira podem causar também problemas de saúde.

Kazakevics e Spedding (1979), afirmam que a emissão de formaldeído dos produtos compósitos de madeira é um aspecto muito importante para a saúde humana. Em altas quantidades e concentradas em áreas fechadas a emissão de formaldeído pode causar irritação nos olhos, problemas respiratórios, náuseas, dor de cabeça, fadiga, cansaço e sede (National Research Council, 1981). Problemas similares podem aparecer com estoques armazenados em áreas de pouca ventilação (VALZANO, 2000).

Emissão de formaldeído não deve causar qualquer problema importante em um meio bem ventilado ou ao ar livre. Fora isto, o transtorno da emissão geralmente ocorre entre 30 e 72 horas (National Research Council, 1981).

A verificação da concentração de formaldeído no ar pode ser prudente durante o processo de fabricação de produtos de madeira reconstituídos em ambiente fechado sem ventilação. A metodologia para análise é apresentada na norma Australiana (AS 2365.6) (1995), para amostra e análise de ambiente fechado (ROU, 2000). Nos casos de risco ao ser humano é necessário implementar precauções extras para os trabalhadores (roupas de proteção e máscaras para respiração) quando do seu processo de formação e prensagem.

2.2 MATÉRIA – PRIMA

2.2.1 MADEIRA

As características de produtos à base de madeira vêm sendo modificadas através de novas tecnologias, ao longo dos anos. Os estudos científicos tornaram cada vez mais eficientes as propriedades dos produtos à base de madeira. Os produtos obtidos por alterações físicas, química e mecânica, são de um modo geral chamado de madeiras modificadas. Estas alterações de comportamento da madeira e dos diferentes métodos de aprimoramento são ligadas à química e à biologia, e podem se apresentar em três subgrupos: química, biológica e termo modificação. O objetivo pode ser o mesmo no que tange à obtenção de novos produtos, mas os meios para sua obtenção são diferentes (OLLI, 2003).

A madeira é formada basicamente de paredes de células que é a celulose. Celulose é um polissacarídeo, o qual é formado por uma longa cadeia de moléculas de açúcar. A pequena subunidade da cadeia é um monômero de glicose. A celulose é responsável por aproximadamente 40 a 45% do peso seco do tecido normal da madeira. Ela é basicamente o material responsável pela resistência das fibras de madeira. (ROWELL, 1993).

O segundo componente no tecido da madeira são as polioses, as quais atuam como uma matriz para a celulose e também adiciona material à densidade da parede celular (ROWELL, 1993). Ela é também polissacarídeos com pequena cadeia lateral, e consistem principalmente de combinações diferentes, com 5 carbonos (xilose e arabinose) e 6 carbonos de açúcar (glicose, mannose e galatose) (ROWELL, 1993).

O terceiro componente é a lignina, que é uma complexa molécula polifenólica. É um adesivo composto junto com o tecido da madeira. A sua retirada é a principal dificuldade no processo de produção da celulose e papel, na etapa de desfibramento da madeira (OLLI, 2003).

As proporções de cada um destes componentes majoritários são muito variáveis. Em madeiras de baixa densidade são normalmente de 40 a 50% de celulose, aproximadamente 20% de polioses e 25 a 35% de lignina. Nas madeiras de alta densidade é de 40 a 50% de celulose, de 15 a 35% de polioses e de 17 a 25% de lignina (OLLI, 2003).

Outros componentes também são encontrados, mas em quantidades bem menores, como graxas, resinas, ceras, óleos e amido. A este grupo se dá o nome de extrativos.

As fibras que formam o tecido da madeira têm uma forma tubular e estão dispostas ao longo do caule, e têm a função principal de sustentação da árvore. As disposições das fibras e outros elementos da madeira tornam o material anisotrópico. Isto significa dizer que a madeira apresenta propriedades diferentes na estrutura da árvore, nos eixos longitudinal, tangencial e radial. Portanto a orientação das fibras e a formação do colchão ou seu entrelaçamento são aspectos que afetam as propriedades do produto final, tanto planos, quanto tridimensionais (OLLI, 2003).

As principais propriedades da madeira que influenciam na formação e qualidade dos produtos reconstituídos de madeira são as seguintes: Propriedades anatômicas , Propriedades físicas, Propriedades químicas e Propriedades mecânicas (IWAKIRI, 2005).

Propriedades Anatômicas

A influência da anatomia da madeira está relacionada principalmente à sua estrutura, quanto às diferenças dos seus elementos celulares, como dimensão, disposição e freqüência das cavidades celulares, que por sua vez estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade da madeira. (IWAKIRI, 2005).

Segundo Iwakiri (2005), as características inerentes à anatomia da madeira que influenciam na colagem da madeira são:

a) Anéis de crescimento – lenho inicial e tardio: A estrutura diferenciada dos lenhos inicial e tardio em termos de densidade e porosidade da madeira pode causar problemas em relação à penetração do adesivo. Estes problemas podem ser minimizados, alterando a formulação do adesivo, com aumento ou redução da viscosidade;

b) Cerne e alburno: As células que formam o alburno são lentamente preenchidas com materiais “estranhos”, como óleos, graxas e componentes fenólicos, derivados de processos metabólicos, para formação do cerne os quais alteram várias características da madeira, entre elas, a permeabilidade. O cerne em relação ao alburno, é mais denso, menos permeável e apresenta maior concentração de extrativos;

c) Lenho juvenil e adulto: O lenho juvenil se caracteriza por possuir anéis de crescimento largos, menor densidade, maior porosidade e apresenta maior facilidade de colagem em relação ao lenho adulto com características opostas. A madeira de lenho juvenil apresenta baixa resistência mecânica e alta instabilidade dimensional;

d) Grã: O movimento da umidade, a estabilidade dimensional, a resistência mecânica e condições de acabamento superficial, estão diretamente relacionados com o ângulo da inclinação da grã;

e) Porosidade: A porosidade da madeira está relacionada à estrutura da madeira e sua densidade e influencia no fluxo de líquidos através da estrutura lenhosa. A madeira mais porosa tem maior permeabilidade.

Propriedades Físicas

As principais propriedades físicas da madeira que influenciam na colagem da madeira são:

a) Densidade: Esta característica física apresenta uma relação inversa com a porosidade e à ação de penetração de adesivos na

estrutura lenhosa. As madeiras de alta densidade apresentam maiores alterações dimensionais com mudanças no conteúdo de umidade;

b) Conteúdo de umidade: A influência do conteúdo de umidade da madeira na formação da ligação adesiva está relacionada com a quantidade e o ritmo de absorção do adesivo líquido pela madeira. Quanto menor o conteúdo de umidade da madeira, maior será a taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação do adesivo.

Propriedades Químicas

A madeira é quimicamente constituída de componentes majoritários - celulose, polioses e lignina - e, os componentes minoritários, formados por extrativos e substâncias inorgânicas (cinzas):

a) Extrativos: São materiais produzidos principalmente durante a formação do cerne. Seus efeitos, predominantemente, estão relacionados à redução da higroscopicidade e da permeabilidade da madeira. A concentração de extrativos nas camadas superficiais da madeira, pode bloquear a passagem de água e retardar a sua taxa de evaporação, além da interação negativa com o adesivo, prejudicando seu processo de cura e aumentando o tempo necessário de prensagem de um painel;

b) pH: O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se normalmente na faixa de 3 a 6. Pode ocorrer mudança de pH dentro de uma mesma peça de madeira, em função da migração de extrativos de camadas mais internas para camadas superficiais, alterando as condições de colagem;

c) Cinzas: O conteúdo de cinzas da madeira encontra-se geralmente abaixo de 0,5% e não afeta diretamente a performance da ligação adesiva. Poderá afetar o pH ou as características de usinabilidade da madeira, devido à presença de minerais como a sílica e seu efeito ao desgaste excessivo das peças cortantes.

Propriedades Mecânicas

As principais propriedades mecânicas da madeira que influenciam no desempenho da ligação adesiva são:

a) Tensões Internas: As diferentes estruturas da madeira, grã, densidade, módulo de resistência e coeficiente de retratibilidade, irão gerar diferentes níveis de tensão nas interfaces da “madeira/adesivo” em função das alterações de temperatura e umidade do ambiente;

b) Tensões Externas: São tensões impostas através de cargas cumulativas ou dissipativas sobre a linha de cola. As regiões de baixa resistência da madeira podem ser visualizadas através da falha da madeira.

2.2.1 ADESIVOS PARA MADEIRA

2.2.1.1 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS ADESIVOS

O processo de adesão é completado depois da transição do adesivo da forma líquida para sólida. Isto ocorre gradativamente com o aumento da viscosidade do adesivo líquido até a sua solidificação, com a formação da linha de cola que deve resistir às forças de tensão para separação das superfícies coladas, quando estas são efetivamente ligadas.

Esta transição pode ser resultado de uma mudança física no adesivo termoplástico ou de uma mudança química no adesivo termofixo.

Os adesivos podem ser classificados como termoplásticos ou termofixos (VICK, 1999).

a) Adesivo termoplástico: Neste a mudança física para a forma sólida pode acontecer de uma das duas formas: 1. perda de solvente por

evaporação e dispersão sobre a madeira, ou 2. redução de temperatura do adesivo na superfície da madeira.

b) Adesivo termofixo: Neste a forma sólida é alcançada através da polimerização química dentro da ligação estrutural, quando sob aquecimento sofre modificações químicas e físicas irreversíveis, tornando-se rígido e insolúvel, pela reação de policondensação. O adesivo termofixo e a madeira transportam água, e esta deve ser evaporada e absorvida pela madeira para que o adesivo tenha cura completa (VICK, 1999).

O adesivo líquido deve ter uma viscosidade adequada, para assegurar fluxo capilar a fim de penetrar na estrutura da madeira, deslocando e absorvendo o ar, a água, e recobrir a superfície (VICK, 1999).

A prensagem é realizada para forçar o líquido adesivo a fluir sobre a superfície, deslocando o ar, e penetrando na madeira.

Procedimentos Empregados na Colagem.

As seguintes variáveis são de importância fundamental no processo de colagem das madeiras (IWAKIRI, 2005).

- Formulação e quantidade de adesivo a ser aplicado em função da espécie, espessura da lâmina e área superficial das partículas de madeira;
- Os parâmetros do ciclo de prensagem, em relação à temperatura, pressão e tempo de prensagem também devem influenciar a qualidade da colagem.

Tipos de Resinas

Os principais tipos de resina usados na fabricação de produtos reconstituídos de madeira, são apresentados a seguir (VICK, 1999):

a) Isocianeto ou MDI: é uma resina de uso mais recente (comparada com a fenol-formaldeído e uréia-formaldeído) que ganha parte do mercado em função do interesse público sobre problemas de emissões de formaldeído livre. O MDI é usado na maioria das fábricas de "*oriented strand board*" (OSB). É uma resina muito eficiente e apresenta alta performance em painéis de partículas estruturais. Uma desvantagem se refere à habilidade de aderir a superfícies metálicas durante a prensagem. MDI tem seu custo mais elevado do que as resinas a base de formaldeído.

b) Ureia-formaldeído (UF): sua composição é baseada na uréia e formaldeído. A uréia é produzida pela reação de dióxido de carbono e amônia. O formaldeído é obtido pela oxidação do metanol preparado a partir de monóxido de carbono e hidrogênio, ou de petróleo. Mais de 90% das indústrias de painéis de madeira utiliza resina (UF), tendo em vista o seu baixo custo. Sua desvantagem consiste na susceptibilidade à degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas e elevadas.

c) Melamina-formaldeído (MF): apresenta coloração branca leitosa, e com as vantagens de ter maior resistência à umidade em relação à resina UF e cura mais rápida em relação à resina FF. No processo de fabricação do pré-condensado de melamina-formaldeído, o pH situa-se em torno de 9, com a finalidade de não acelerar demasiadamente a reação de condensação. Porém, a cura final ocorre no meio ácido, com a utilização de mesmos catalisadores da uréia formaldeído. A temperatura de cura é na faixa de 65 a 130°C, sendo que na temperatura de 130°C, não é necessário o uso de catalisador. Foi uma resina usada primeiramente para laminados decorativos. São mais caras que as FF. A resina MF pode ser misturada com a resina UF para certas aplicações, sendo comercializada como resina melamina-uréia-formol (MUF).

d) Fenol-formaldeído (FF): é uma resina de coloração vermelha escura, e sua temperatura de cura é na faixa de 130 a 150°C. As resinas fenólicas são obtidas por meio de reações químicas de fenóis com o formaldeído. São usadas principalmente em painéis resistentes à prova d'água tais como compensados estruturais, aglomerados estruturais "waferboard" e "OSB". A FF apresenta como característica principal alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior. Embora o formaldeído esteja presente em ambos os tipos de resinas, as madeiras coladas com a resina FF emitem geralmente o formaldeído em taxas consideravelmente mais baixas do que aqueles colados com a resina UF. O custo da resina fenol-formaldeído é relativamente alto, sendo em torno de 2,5 vezes mais que o da resina uréia-formaldeído.

e) Poliacetato de vinila (PVAc): comercializada na forma de emulsão aquosa ou *crosslinking*, é uma resina termoplástica mais utilizada pelas indústrias de painéis e artefatos de madeira. A cura da resina PVAc – termoplástica se processa à temperatura ambiente. As características técnicas da resina PVAc podem variar em função da adequação à finalidade de uso, sendo normalmente de baixa resistência à umidade. Porém existem fórmulas desenvolvidas especialmente para ser aplicado onde se requeira alta resistência térmica e alta resistência à água, (resistência à água nível "D-4" conforme "EN-204"), pelo processo de prensagem a frio, a quente e alta frequência. É um produto sem características tóxicas com relação à manipulação ou inalação. Utilizado em colagens de painéis e laminados plásticos e materiais porosos em geral (BORDEN, 2005).

f) Resinas – "bio-base": é um adesivo biodegradável à base de soja natural. Analistas da indústria afirmam que resinas naturais que usam polímeros de soja serão competitivas com resinas sintéticas. Empresas Americanas têm incorporado já uma fração de adesivos baseados em soja

em sua base de produtos. (VICK, 1999). No Brasil têm sido realizados estudos com adesivos à base de mamona.

Os adesivos "*bio-base*", derivados de plantas como soja e mamona têm sido testados, no entanto, ainda não se encontram disponíveis em escala comercial (VICK, 1999).

2.2.1.2 PROCESSO DE SELEÇÃO DE ADESIVOS

A ligação adesiva de componentes de madeira tem representado um papel essencial no desenvolvimento das indústrias de base florestal e tem sido um fator chave na utilização racional dos recursos florestais (YOUNGQUIST, 1999).

Na seleção do adesivo são considerados alguns fatores que levam em conta as características dos materiais a serem unidos, conteúdo de umidade, tempo de colagem, propriedades mecânicas e durabilidade solicitadas aos produtos finais, aliados ao seu custo (YOUNGQUIST, 1999).

A escolha do adesivo para a fabricação de um produto reconstituído de madeira envolve um esforço corporativo entre o seu fabricante e o fornecedor de adesivo. Tal esforço conjunto envolve a análise do produto, planejamento do serviço ambiental, e todo o processo de produção e equipamentos (YOUNGQUIST, 1999).

O processo de seleção começa com a avaliação de quais adesivos são compatíveis com as propriedades físicas e químicas da ligação adesiva requerida, em termos de propriedades da superfície do material a ser colado e desempenho do produto colado (VICK, 1999).

Segundo Vick (1999), o adesivo deve fazer contato molecular com lignocelulose da madeira e penetrar profundamente para unir mecanicamente com a estrutura celular da madeira. Metais e plásticos não podem ser penetrados, assim estes materiais geralmente não podem ser unidos com adesivos aquosos destinados à madeira.

Além do custo do adesivo e equipamentos envolvidos no processo de colagem, as questões ambientais precisam ser estudadas. O custo de

solventes orgânicos e recuperação de voláteis para prevenir poluição do ar têm aumentado drasticamente. A substituição por produtos à base de água deve ser uma solução recomendável devido ao baixo custo do solvente. Este fator precisa ser considerado por causa dos efeitos no desempenho e custo completo do processo (VICK, 1999).

As resinas mais usadas para produção de painéis de partículas de madeira incluem uréia-formaldeído, fenol-formaldeído, melamina-formaldeído e isocianatos. O tipo e quantidade de cada resina dependem da aplicação final do produto (VICK, 1999).

2.2.2 ADITIVOS QUÍMICOS

Segundo Iwakiri (2005), são produtos químicos incorporados nas partículas de madeira durante o processo de aplicação do adesivo, com a finalidade de melhorar algumas propriedades específicas dos painéis, como:

a) Catalisadores

Produtos como cloreto de amônia e sulfato de amônia, adicionados na resina uréia-formaldeído e tem a função de reativar a pré-condensação e aumentar a velocidade de polimerização e cura da resina. O uso destes agentes reduz o PH da resina, tornando o meio mais ácido e tendo a ação de endurecimento por combinação com o formaldeído livre (IWAKIRI, 2005);

b) Emulsão de parafina

Aplicado na proporção de até 1% baseado no peso do sólido resinoso, com a finalidade de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis (IWAKIRI, 2005);

c) Retardantes de fogo

Componentes químicos como fosfato de amônia, ácido bórico, sulfato de amônia, incorporados no material durante o processo de

produção, ou através da impregnação em painéis após a prensagem (IWAKIRI, 2005);

d) Produtos preservantes contra fungos e insetos.

Compostos químicos incorporados ao material durante o processo de produção, na proporção variando entre 0,25% a 2,5% base peso seco das partículas. Produtos à base de boro, em proporções de 1% a 2% são suficientes para melhorar a resistência ao ataque de fungos, e apresentar eficiência razoável contra insetos. Produtos à base de hexaclorociclohexano são recomendáveis contra ataque de insetos xilófagos (IWAKIRI, 2005).

2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA

2.3.1 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

2.3.1.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE PAINÉIS DE MADEIRA

A árvore em função de seu crescimento, diferenciado nos sentidos axial e transversal, forma lenho com estrutura heterogênea e anisotrópica. As características, disposições e freqüência dos elementos celulares resultam em algumas limitações naturais do uso da madeira em relação às dimensões das peças, anisotropia e defeitos naturais. (MARRA, 1992).

A largura e o comprimento das peças são limitados ao diâmetro e altura das árvores. A madeira por apresentar natureza anisotrópica, as suas propriedades mecânicas e não mecânicas são distintas nas direções de crescimento tangencial, radial e longitudinal (MARRA, 1992).

Nós, inclinação da grã, percentagem de lenhos juvenil e adulto, lenhos de reação, largura dos anéis de crescimento, interferem no comportamento reológico da madeira (MARRA, 1992).

Em face de tais limitações, surge a importância do adesivo, que, através da redução da madeira em peças menores, de forma e geometria variadas, são posteriormente reordenados e reconstituídos através de ligações adesivas, em produtos cujas propriedades são diferentes do material original (madeira sólida).

O princípio de construção empregado na fabricação de diferentes tipos de painéis de madeira, vem contribuir na realização de três importantes benefícios à sociedade, na busca pela melhor qualidade de vida, são eles:

- Aumento na oferta de produtos de madeira a partir de uma determinada área florestal com a utilização racional e integral da madeira;
- Melhoria das propriedades dos produtos compostos de madeira e, desta forma, aumentar a gama de utilização;
- Servir como produto alternativo aos materiais provenientes de recursos metálicos e poliméricos (petroquímicos), com propósitos de construção e fabricação de bens de consumo (MARRA, 1992).

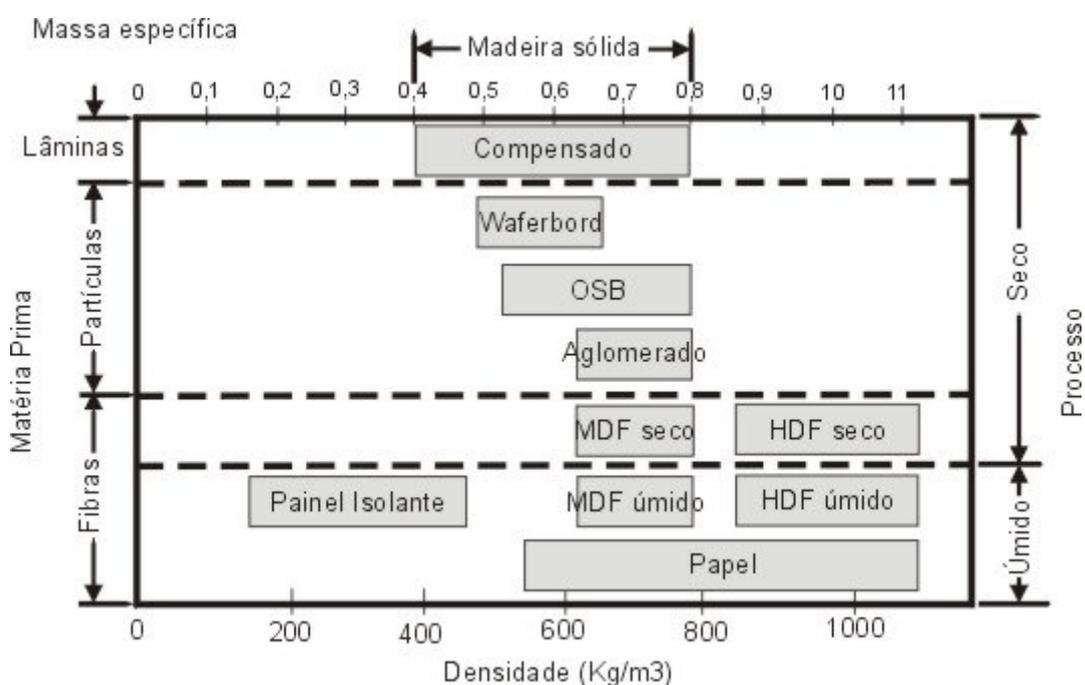
Os principais tipos de painéis reconstituídos de madeira podem ser classificados em 3 categorias básicas: painéis laminados, particulados e de fibras, como ilustrado na figura 2. A partir dos limites do desempenho de cada tipo, pode-se definir a aplicação final do painel. Variando a configuração física da madeira e ajustando a densidade dos painéis, são qualificados como estruturais ou não. Outras variações englobam tipo de resina, quantidade e acréscimo de aditivos para aumentar resistência à água e fogo ou para melhorar o desempenho nas variações ambientais (YOUNGQUIST, 1999).

Os painéis à base de partículas e fibras de madeira são processados de maneira distinta (YOUNGQUIST, 1999). Sobre as partículas e fibras de madeira secas. É aplicado o adesivo e posteriormente passa pelo processo de formação do colchão. O colchão formado é submetido a prensagem a quente para cura do adesivo e

consolidação do painel. O produto colado é aclimatizado, e passa pelas especificações de largura, comprimento, e acabamento superficial (YOUNGQUIST, 1999).

Como se pode observar na figura 2, segundo Youngquist (1999), os produtos são classificados, com base na caracterização da matéria-prima, pelo processo e pela massa específica.

FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA



FONTE: SUCHSLAND E WOODSON (1986)

Os diferentes tipos de painéis têm como principais fatores de diferenciação a variação na geometria dos elementos de madeira, densidade e processo de fabricação. Outras variáveis do processo são: tipo e quantidade de resina, constituição em camadas e tipos de aditivos químicos (YOUNGQUIST, 1999).

2.3.1.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DE MADEIRA

De acordo com Marra (1992), na medida em que as toras são convertidas em elementos menores, com a redução do comprimento, largura e espessura, a natureza do processo industrial empregado e as características do produto final serão diferenciadas da seguinte forma: maior formabilidade; decréscimo da relação resistência/ peso; aumento da homogeneidade e isotropia; decréscimo de requisitos quanto à qualidade da matéria-prima; maior influxo de capital. (Figura 3)

FIGURA 3 - ESTRATIFICAÇÃO PRIMÁRIA DE ELEMENTOS DA MADEIRA



FONTE: MARRA (1992)

Desta forma, os produtos compostos à base de madeira possuem características e propriedades diferenciadas em função do comprimento, largura e espessura dos elementos de madeira (MARRA, 1992).

A resistência no painel está diretamente relacionado com o tamanho das partículas, e quantidade de adesivo aplicado (YOUNGQUIST, 1999).

Na tabela 1 são apresentados os diversos tipos de elementos de madeira, suas dimensões e produto final.

TABELA 1 - DIMENSÕES DOS ELEMENTOS DE MADEIRA

ELEMENTO	COMPRIMENTO (Pol.)	LARGURA (Pol.)	ESPESSURA (Pol.)	PRODUTOS
MADEIRA MACIÇA	4,0-20 (ft)	4,0-12	0,5-2,0	VIGAS
LÂMINA	4,0-8,0 (ft)	4,0-48	0,02-0,5	COMPENSADO / LVL
WAFER	1,0-3,0	1,0-3,0	0,025-0,05	WAFERBOARD
LASCAS (FLAKES)	0,5-3,0	0,5-3,0	0,010-0,025	FLAKEBOARD
STRANDS	0,5-4,0	0,25-1,0	0,010-0,025	OSB
SILVERS	0,25-3,0	0,005-0,025	0,005-0,025	SILVERBOARD
PARTICULAS	0,05-0,5	0,005-0,050	0,005-0,050	AGLOMERADO
FIBRAS	0,05-1,0	0,005-0,020	0,001-0,003	CHAPAS DE FIBRAS
FIBRAS	0,04-0,25	0,001-0,003	0,001-0,003	PAPEL
CELULOSE / LIGNINA	DIMENSÕES MOLECULARES			PLÁSTICOS / FILMES

FONTE: MARRA (1992)

Os elementos de madeira se compõem basicamente da definição do tipo e tamanho da partícula ou fibra e sua homogeneidade em termos de granulometria, para determinar a nomenclatura de cada produto final. Tem-se uma pequena variação na dimensão dos elementos. E estes, com suas características e designação, definirão as qualidades técnicas e formais do produto (MARRA, 1992).

O processo de redução dos elementos de madeira para a fabricação de produtos de madeira reconstituída deve ser uniforme, limpa e padronizada. Para obtenção desses elementos são necessários equipamentos específicos em função de suas dimensões e formas (ROU,VALZANO, 2000).

2.3.1.3 PROCESSO DE PREPARAÇÃO DA MADEIRA E FORMAÇÃO DE PRODUTOS RECONSTITUIDOS DE MADEIRA

a) OBTENÇÃO DAS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA

Geração de Partículas

Dependendo do produto a ser fabricado, as especificações do tamanho ideal das partículas são diferentes. O processo de redução da madeira em partículas é de acordo com o produto final.

Segundo Maloney (1993), os equipamentos utilizados na geração de partículas de madeira são:

- **Picador de tambor:** Tambor giratório com facas para corte, sendo utilizado para as reduções primárias, na transformação da tora em cavacos.
- **Picador de disco:** Equipamento com discos providos de facas, utilizados também para transformação de toras em cavacos.
- **Picador em anel:** Composto de anel que circula em volta de facas, utilizado para o aproveitamento de resíduos provenientes de outras indústrias madeireiras.
- **Moinho de martelo:** Equipamento com eixo rotatório dotado de placas metálicas que moem e esmagam cavacos e partículas de madeira para redução de seu tamanho. Placa de metal perfurado controla o tamanho das partículas (RYNK *et al.*, 1992).

Secagem das Partículas

Operações de secagem das partículas é parte crítica no processo de manufatura de painéis de madeira. As partículas devem ser secas ao teor de umidade na faixa de 2% a 7% de umidade. (YOUNGQUIST, 1999). O ponto crítico da umidade das partículas é durante a operação de prensagem a quente. Pois, se a umidade estiver alta pode ocasionar a

delaminação ou “estouro” do painel, no momento de abertura dos pratos da prensa (YOUNGQUIST, 1999).

Classificação das Partículas

No processo industrial, as partículas menores (finas) são utilizadas na camada externa do painel e as partículas maiores na camada interna. As partículas menores melhoram o acabamento superficial do produto, mas requerem um aumento na quantidade do adesivo. Partículas maiores podem afetar a qualidade do produto final, podendo apresentar falhas internas e menos homogêneas do que as partículas menores. Necessitando assim, de uma boa classificação, que pode ser feita por sistema de peneiras vibratórias ou pneumáticas (YOUNGQUIST, 1999).

b) OBTENÇÃO DE FIBRAS DE MADEIRA

Inicialmente, os toretes são transformados em cavacos, os quais são controlados a fim de padronizar as dimensões, uniformizar o teor de umidade e remover materiais indesejáveis. Os cavacos são desfibrados pelo processo termo-mecânico em desfibradores do tipo "Asplund", como nas chapas isolantes e duras (IWAKIRI, 1998; SONAE, 1999).

O processo *Asplund* desenvolvido especialmente para as indústrias de chapas de fibras, se caracteriza por utilizar as propriedades termo-plásticas do material à base de lignocelulose para o desfibramento. O equipamento é formado por um cilindro para aquecimento a vapor dos cavacos e por um desfibrador a disco, num sistema integrado para evitar o resfriamento dos cavacos (MARRA, 1992).

FIGURA 4 - DISCOS DO DESFIBRADOR TIPO "ASPLUND" NO LABORATÓRIO DE PAINEIS DA UFPR



FONTE: Autor

O processo pode ser descrito da forma a seguir: Os cavacos são aquecidos com vapor a 170-190°C com pressão de 7-11,5 kg/cm² por um período que varia de 20 a 60 segundos, para depois serem desfibrados em um moinho de disco. Devido ao menor tempo de exposição das fibras ao vapor, há uma menor perda de fibras e estas ficam mais flexíveis, melhorando as propriedades de formação do colchão e aumentando a resistência das chapas. O rendimento deste processo é em torno de 90-93% (MARRA, 1992).

Devido ao sistema integrado, que realiza operações contínuas, o processo *Asplund* apresenta as seguintes vantagens: menor custo de conversão com menor consumo de potência e vapor; maior rendimento; uniformidade da polpa; utilização de qualquer tipo de matéria-prima lignocelulósica (MARRA, 1992).

c) "FARINHA DE MADEIRA"

É a denominação dada ao material derivado da madeira obtido através do aproveitamento de serragem, cepilho e aparas os quais são processados mecanicamente, com granulometria controlada. São

produzidas numa grande gama de granulometria usando processos e equipamentos específicos, com o objetivo de atender as necessidades para cada uso, que vão desde a indústria de injeção de plásticos, a borrachas para calçados e fundição. A figura 5 apresenta uma amostra granulométrica da farinha de madeira comercial (INBRASFAMA, 2004).

FIGURA 5 - "FARINHA DE MADEIRA" INBRASFAMA



FONTE: Autor

d) PROCESSO DE CONSOLIDAÇÃO DOS PRODUTOS RECONSTITUÍDOS A BASE DE MADEIRA

Compressão a Frio

A compressão a frio é um processo mais utilizado para vigas laminadas e alguns casos especiais de chapas de compensados, onde sob pressão e por determinado tempo, a cura do adesivo se efetiva através de catalisadores (ácidos). Adesivos como PVAc são bastante utilizados, além de UF a frio com catalisadores ácidos para alguns tipos de compensados. Outros painéis que são prensados a frio são as chapas cimento-madeira, que são produtos à base de partículas ou "farinha de madeira", com cimento (YOUNGQUIST, 1993).

Compressão a Quente

Trata-se do processo mais comumente utilizados na fabricação de produtos reconstituídos à base de fibras e partículas de madeira. Na compressão a quente, o material é comprimido sob temperatura e pressão para cura da resina. A pressão tem a função de compactar o material até a espessura final do produto (YOUNGQUIST, 1993).

Quando a madeira é aquecida à temperatura acima de 200°C por um período de tempo muito longo, a cor e a estrutura da madeira são modificadas. O tratamento térmico na madeira a torna mais durável contra o ataque de agentes biodegradadores porque alguns componentes químicos são removidos durante o processo (OLLI, 2003).

2.3.1.4 PAINÉIS LAMINADOS

Os painéis laminados caracterizam-se pela estrutura contínua da linha de cola formado através do processo de colagem de lâminas, como: compensado multilaminado, compensado sarrafeado, painéis de lâminas paralelas (*LVL*), painéis colados lateral, compensado de lâminas paralelas (*lamyboard*) e compensado de madeira maciça (*three-ply*).

Segundo Iwakiri (2005), O compensado é um painel fabricado através da colagem de lâminas em número ímpar de camadas, com direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes.

O processo de fabricação dos compensados passa por etapas de junção das lâminas, preparação e aplicação do adesivo, montagem do compensado, pré-prensagem, prensagem a quente, acondicionamento, acabamento e classificação (IWAKIRI, 2005).

Devido ao princípio da laminação cruzada e restrição imposta pela linha de cola ao comportamento individual das lâminas, os painéis apresentam maior estabilidade dimensional e melhor distribuição de resistência nos sentidos longitudinal e transversal do painel (IWAKIRI, 2005).

As principais propriedades avaliadas em nível de pesquisa e controle de qualidade nas indústrias de painéis compensados são:

- Teor de umidade;
- Massa específica aparente;
- Módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática;
- Compressão paralela ao plano do painel;
- Tração paralela ao plano do painel;
- Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento;
- Absorção de água, inchamento e recuperação em espessura;
- Emissão de formaldeído livre.

Com base nas descrições feitas por Maloney (1993), as características tecnológicas e aplicações dos principais tipos de painéis laminados são apresentados a seguir:

- Painel Compensado multilaminado (Plywood)

Painel composto de lâminas de madeira sobrepostas em número ímpar de camadas, formando um ângulo de 90° entre as camadas adjacentes. Os compensados podem ser de uso interior quando utilizado o adesivo uréia-formaldeído e, de uso exterior ou "Prova d'água", quando a colagem é à base de adesivo fenol-formaldeído. As variáveis do processo como umidade das lâminas, composição estrutural, formulação do adesivo, gramatura, ciclo de prensagem, etc., são importantes fatores para assegurar a qualidade dos painéis. Os compensados são painéis com aplicações muito abrangentes, sendo destinadas para setores de construção civil, naval, indústria moveleira, embalagens, etc.

- Compensado sarrafeado (Blockboard)

Painel com miolo composto de sarrafos e capas com lâminas de madeira. É caracterizado conceitualmente como painel de 5 camadas, tendo em vista que há uma camada de "transição" constituída de lâminas coladas perpendicularmente aos sarrafos e as lâminas das capas com a grã no sentido paralelo aos sarrafos. A principal vantagem do compensado sarrafeado é a maior resistência do painel à flexão estática no sentido paralelo ao seu comprimento. Os compensados sarrafeados são utilizados principalmente para fabricação de móveis.

- Painéis de lâminas paralelas (Laminated veneer lumber LVL)

Painel constituído de lâminas de madeira coladas no mesmo sentido com resina fenol-formaldeído. É um produto para aplicações estruturais, principalmente, como componente de vigas em "I", formando as "*flanges*", em combinação com a "*alma*" constituída de painéis OSB.

- Compensado de lâminas paralelas (Lamyboard)

Trata-se de um painel derivativo do compensado sarrafeado, com a diferença de que o miolo é composto por painéis de lâminas paralelas seccionadas no sentido longitudinal em tiras e viradas em ângulo de 90°. As faces são constituídas de 2 lâminas de madeira em disposições cruzadas.

- Painel Compensado de madeira maciça (Three-ply)

É um produto relativamente novo no Brasil, inclusive com a terminologia não muito bem definida até o momento. Trata-se de painel constituído de três camadas cruzadas de sarrafos colados lateralmente com adesivo à base de PVAc. É um produto com grande potencial

tecnológico e econômico, tendo em vista a possibilidade de utilização de peças "clear" com emendas "finger-joints", constituindo um painel de alta qualidade e de maior valor agregado. Para aplicações em construção civil, pode ser empregada resina melamina-ureia-formaldeído (MUF) para elevar a durabilidade do painel para uso externo.

2.3.1.5 PAINÉIS PARTICULADOS

São constituídos de pequenos elementos de madeira (partículas) e se caracterizam pela estrutura descontínua da linha de cola, tais como: painéis de madeira aglomerada, painéis OSB, painéis de cimento madeira.

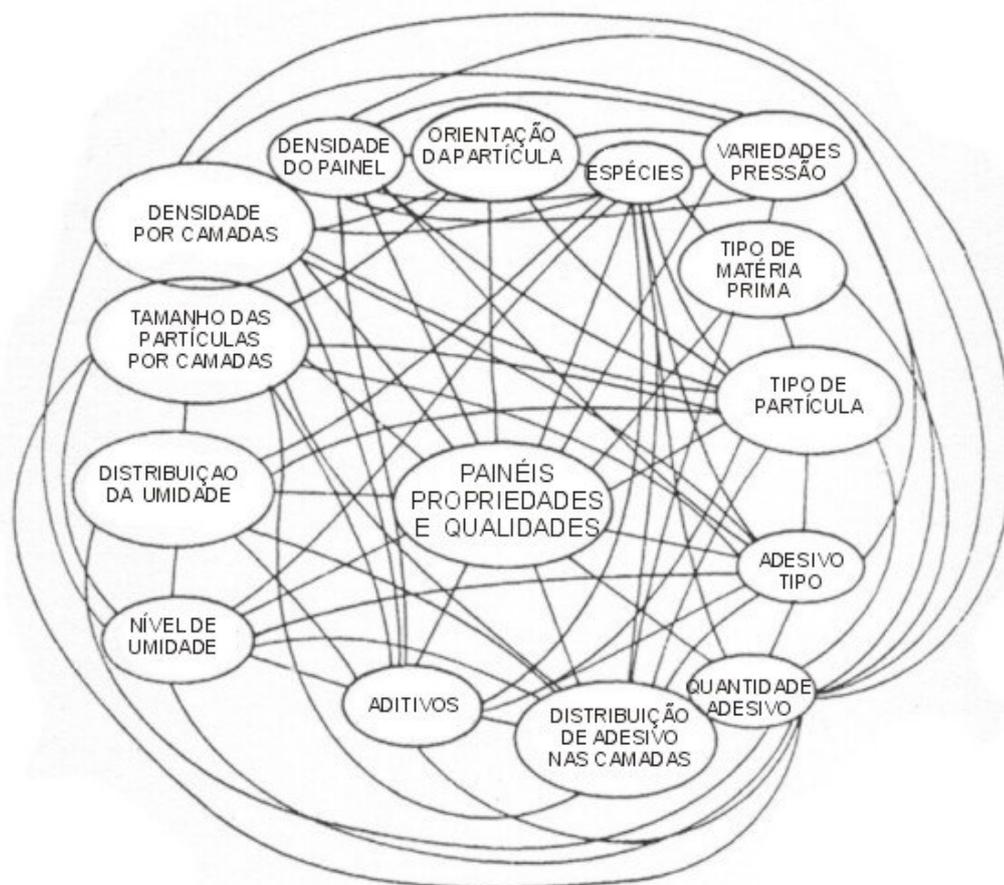
Os painéis particulados de madeira, são produzidos com elementos de madeira, com a incorporação de adesivos sintéticos e consolidados através da prensagem a quente.

Seu processo de fabricação envolve as seguintes etapas: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação do adesivo e aditivo químico, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, acondicionamento e acabamento (IWAKIRI, 2005).

A qualidade dos painéis é avaliada através de suas propriedades físico-mecânicas, tais como: ligação interna, flexão estática, resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura (IWAKIRI, 2005).

Os principais fatores que afetam as propriedades finais das chapas de partículas, de acordo com Maloney (1995), são: espécie de madeira, tipo da matéria prima, tipo e característica das partículas, tipo de cola (resina), quantidade e distribuição em camadas, teor de umidade e distribuição, tamanho das partículas, densidade da madeira, orientação das partículas e suas interações. As interações entre os fatores que afetam as propriedades podem ser visualizadas na figura 6.

FIGURA 6 - INTERAÇÕES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES E QUALIDADE DAS CHAPAS



FONTE: MALONEY (1995)

A definição da matéria prima é um dos fatores mais importantes para a confecção de produtos compostos de madeira. Segundo Moslemi, citado por Brito (1995), o material escolhido deve preencher os seguintes requisitos: disponibilidade em quantidades adequadas, ser barato, forma adequada para a fabricação de chapa, incorrer em custo relativamente baixo no manuseio e estocagem.

VARIÁVEIS IMPORTANTES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS DE MADEIRA

a) Dimensões e Geometria das Partículas

Segundo BODIG & JAYNE, citado por Iwakiri (1989), as dimensões e a forma das partículas são uma das variáveis que mais influem nas propriedades mecânicas das chapas.

Partículas mais longas e mais finas produzem chapas com maior resistência a flexão estática e estabilidade dimensional, enquanto que partículas mais curtas e mais espessas produzem chapas com maior resistência de ligação adesiva e menor estabilidade dimensional (MOSLEMI, 1974). A geometria das partículas influi também no acabamento, colagem e aplicação de produtos laminados nas superfícies das chapas (IWAKIRI, 1989).

Os elementos dimensionais das partículas são: comprimento, largura e espessura. A razão entre o comprimento e espessura é denominada razão de esbeltez e é um parâmetro de grande importância. Da razão de esbeltez dependem a área de contato entre as partículas na chapa e consumo relativo de resina (IWAKIRI, 1989).

KELLY, citado por Iwakiri (1989), afirma que o conteúdo de resina baseado no peso seco das partículas é altamente dependente da geometria das partículas, devido à diferença na área superficial das partículas por unidade de peso. Portanto, cada tipo de partículas, deverá ter a quantidade ótima de resina, considerando-se a qualidade desejada da chapa e aspecto econômico da produção.

As chapas produzidas com mesma quantidade de adesivo e com partículas longas e finas resultam em menores valores de ligação interna, quando comparadas às chapas feitas com partículas curtas e espessas, MOSLEMI, citado por Iwakiri (1989).

b) Umidade das Partículas

O conteúdo de umidade das partículas tem grande influência no processo de produção e qualidade das chapas. Segundo vários autores, a umidade presente nas partículas e no adesivo líquido determina o conteúdo de umidade do colchão. O conteúdo de umidade do colchão é um fator extremamente crítico, não apenas no tempo de prensagem total, mas também no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade (IWAKIRI, 1989).

Portanto o controle do conteúdo de umidade das partículas tem grande importância na formação do painel, como também para o cálculo da quantidade de resina. Para a produção de chapas as partículas de madeira devem estar com um teor de umidade entre 3% e 6% (FAO, 1991).

C) Formação do Colchão de Partículas

Após a aplicação do adesivo, as partículas são distribuídas sobre a esteira móvel para formação do colchão.

A quantidade de partículas é pré-determinada em função da densidade e espessura do painel. Segundo Iwakiri (2005), os seguintes fatores devem ser considerados na formação do colchão:

- Densidade e espessura desejada do painel.
- Uniformidade e distribuição das partículas, no colchão, para assegurar a densidade e propriedades homogêneas sobre toda a extensão do painel.
- Arranjo do material que pode ser em matriz randômica ou orientada.
- A altura do colchão formado será em função dos seguintes parâmetros:

a) Densidade do painel – quanto maior a densidade desejada do painel, maior será a quantidade de material e maior altura do colchão.

b) Densidade da madeira – quanto menor a densidade da madeira utilizada, maior será a quantidade de material e maior a altura do colchão.

c) Espessura do painel – quanto maior a espessura do painel a ser produzido, maior será a quantidade de material e maior a altura do colchão.

Os métodos empregados para distribuição das partículas, para formação do colchão podem ser:

a) Aleatório – homogêneo, multicamadas e camadas graduadas.

b) Orientado –

Os sistemas de deposição do material se referem ao mecanismo utilizado na estação formadora, que podem ser:

- com 4 fontes de deposição, utilizados para painéis com 3 camadas;
- deposição a ar, para painéis de camadas graduadas;
- deposição mecânica, também para formação de painéis de camadas graduadas.

A produção de chapas com três camadas requer três ou mais estágios de formação. As duas camadas externas consistem de partículas menores em relação à camada interna. A resina contida na camada externa é maior (em torno de 8% a 15%) em relação à interna (4% a 8%), devido às diferenças na área superficial das partículas.

d) Prensagem

Na etapa de prensagem ocorre a consolidação do colchão de partículas em painel com espessura e densidade pré-estabelecida. Segundo KELLY, citado por Brito (1995), o conteúdo de umidade do colchão, a velocidade de fechamento da prensa, tempo e temperatura de prensagem são parâmetros de prensagem mais significativos que afetam as propriedades das chapas de partículas,

O tempo e a temperatura de prensagem são parâmetros correlatos e são controlados para assegurar que a temperatura do miolo atinja o nível requerido para cura da resina. O tempo de prensagem deve ser o suficiente para possibilitar a migração do vapor d'água para as bordas da chapa e sua liberação até o término da prensagem (IWAKIRI, 1989). Segundo KELLY citado por Iwakiri (1989), a prensagem a quente tem a função de plasticização da madeira para reduzir a sua resistência à compressão, facilitando a consolidação do colchão até a espessura desejada, além da polimerização da resina entre as partículas adjacentes.

Com base nas descrições feitas por Maloney (1993), as características tecnológicas e aplicações dos principais tipos de painéis de partículas de madeira são apresentados a seguir:

- Chapas de madeira aglomerada (Particleboard)

Painel produzido com partículas de madeira encoladas normalmente com resina uréia-formaldeído, distribuídas de forma aleatória e consolidado através de prensagem a quente. Estruturalmente, o aglomerado é formado em três camadas, sendo que as camadas externas são formadas com partículas menores, e a camada interna com partículas maiores, visando conferir melhor acabamento superficial e maior resistência da ligação adesiva da camada interna. Entre as variáveis do processo de fabricação, a razão de compactação e a razão de esbeltez são de suma importância para assegurar a característica estrutural do painel. A razão de compactação, que é a relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira, define o grau de densificação do aglomerado.

Espécies de baixa densidade são preferencialmente empregadas, tendo em vista conferir às chapas maior razão de compactação. A relação entre o comprimento e a espessura das partículas de madeira, definida como razão de esbeltez, irá influenciar na área superficial específica das partículas, consumo relativo de resina e grau de adesão entre as

partículas na chapa. As propriedades como flexão estática e ligação interna são afetadas significativamente com as variações dos elementos dimensionais das partículas. As outras variáveis do processo como tipo e quantidade de resina, aditivos químicos, umidade das partículas e ciclo de prensagem, devem ser controlados para assegurar a qualidade requerida de acordo com as exigências das normas. A utilização de chapas de madeira aglomerada se restringem ao uso interno, principalmente na fabricação de móveis.

- *Waferboard*

Painel de uso estrutural, produzido com partículas maiores de formatos quadrado ou ligeiramente retangular, encoladas com resina fenol-formaldeído, com distribuição aleatória das partículas e consolidado através de prensagem a quente. A produção de chapas "waferboard" foi iniciada na década de 70, no entanto, foram gradativamente substituídas pelas chapas "OSB", concebidas como produto estrutural de 2ª geração.

- Chapas de partículas orientadas (*Oriented strand board OSB*)

Painel de uso estrutural, produzido com partículas longas de formato retangular, encoladas com resina fenol-formaldeído e / ou isocianato (MDI), orientadas na mesma direção e consolidado através de prensagem a quente. A composição da chapa em três camadas cruzadas, confere ao painel melhor distribuição da resistência nos sentidos longitudinal e transversal, além de melhorar a sua estabilidade dimensional. No processo produtivo, as variáveis mais importantes são: geometria das partículas "*strand*", teor de umidade das partículas, quantidade de resina e parafina, proporção relativa entre as camadas externas e internas, e ciclo de prensagem. As chapas OSB são empregadas principalmente para construção civil, embalagens, pallets e em menor escala para móveis e decorações de interiores.

- *COM-PLY*

Painel constituído com miolo formado por partículas de madeira encoladas normalmente com resina fenol-formaldéido, com distribuição aleatória ou orientada e faces compostas com laminas de madeira e consolidadas através de prensagem a quente (IWAKIRI, 2005).

- *PSL- PARALLAN (Parallel Strand Lumber)*

Painel produzido a partir de laminas de madeira transformada em formato de "filete", em dimensões médias de 1,3 cm de largura de 94 cm de comprimento, encoladas com resinas para compensados, orientadas na mesma direção e consolidadas através de prensagem a quente (IWAKIRI, 2005).

- Chapas de cimento-madeira (*Wood-Cementboard*)

São chapas produzidas a partir da mistura de partículas de madeira com um aglutinante mineral (cimento) e compostos químicos aceleradores de cura, e consolidadas através de prensagem a frio. As ligações entre as partículas são formadas através da hidratação e cristalização do cimento. São produtos destinados para uso exterior, principalmente para paredes externas de habitações, por serem altamente resistentes à água e mudanças climáticas, virtualmente incombustíveis, resistente ao ataque de agentes biodegradadores e com bom isolamento térmico e acústico. As chapas madeira-cimento são muito empregadas na Europa, EUA e Japão, para construções modulares de casas pré-fabricadas, tendo em vista as suas qualidades tecnológicas e aumento em produtividade da construção.

2.3.1.6 PAINÉIS DE FIBRAS

Os painéis de fibras se caracterizam como um produto de madeira reconstituída de estrutura altamente homogênea e isotrópica. A utilização de fibras de madeira e sua deposição de forma aleatória no plano da chapa confere ao produto vantagem em termos de homogeneidade das propriedades.

São produzidas a partir de fibras de madeira individualizadas, cuja adesão primária se processa através do entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira como a lignina (IWAKIRI, 2005).

Há dois tipos básicos de painéis de fibras de madeira: os isolantes e os prensados. A classificação é baseada na densidade do painel e no processo de formação e prensagem (MARRA, 1992).

O processo de fabricação de painéis de fibra de madeira começa com o desfibramento da madeira, através de um desfibrador termo-mecânico. As etapas posteriores se diferenciam em termos de processo de formação das chapas, que podem ser: prensagem úmida e a seco (MARRA, 1992).

a) Prensagem Úmida

O processo úmido possibilita a produção de painéis com densidades variadas através do controle de pressão. Painéis de baixa densidade recebem apenas um tratamento de secagem após a formação do colchão de fibras, quando o produto tem como finalidade o isolamento. Para usos estruturais, obtém-se maior compactação do painel, pois neste caso se requer uma maior rigidez.

Com o aumento da pressão e do volume de material (fibras), os painéis atingem maior densidade. A pressão associada com calor e

umidade faz com que a lignina e a hemicelulose ajam como adesivo, unindo as fibras. Isto é o suficiente para que haja uma boa ligação entre as fibras, dispensando o uso de adesivos. Contudo, a durabilidade das chapas é aumentada se for adicionada uma pequena quantidade de resina fenólica (MARRA, 1992).

b) Prensagem a Seco

Os colchões formados pelo processo a seco são prensados a temperaturas que variam com o tipo de resina utilizada, pressões de acordo com a densidade desejada e duração do ciclo de prensagem que varia com a espessura do painel.

Por esse processo, pode-se produzir painéis com dimensões maiores, pois a quantidade de água presente nas fibras e no adesivo, durante a prensagem, é menor que no processo de prensagem úmida.

As duas resinas mais utilizadas para produção de chapas de fibras são: uréia formaldeído e fenol formaldeído. A melanina formaldeído pode ser adicionada à uréia-formaldeído para aumentar a durabilidade dos painéis. Os adesivos fenólicos requerem um tempo de prensagem maior e temperatura mais alta do que as uréicas. Apesar de não haver comprovação na prática, a reação da madeira às altas temperaturas pode ser uma das razões da estabilidade ligeiramente maior dos painéis produzidos com adesivos fenólicos (MARRA, 1992).

Com base nas descrições feitas por Maloney (1993), as características tecnológicas e aplicações dos principais tipos de painéis de fibras de madeira são apresentados a seguir:

- Chapas de fibras isolantes (*Insulation board*)

São chapas de fibras de baixa densificação, produzidas a partir de fibras de madeira, com a ligação primária derivada do interempastamento

das fibras e de suas inerentes propriedades adesivas. É empregado o processo úmido de fabricação, sendo que a secagem das chapas é uma fase muito importante para a sua consolidação. Em função da sua constituição em baixas densidades, as chapas isolantes são empregadas para aplicações que requeiram isolamentos térmico e acústico, como divisórias e forros.

- Chapas de fibras duras (*Hardboard*)

São chapas de fibras de alta densificação, com espessura fina e homogênea, produzidas a partir de fibras de madeira encoladas com resina fenol-formaldeído e consolidada através de prensagem a quente. As chapas duras podem ser produzidas através do processo úmido ou seco. No processo úmido se utiliza a filtragem da suspensão de água-fibras, e a deposição das fibras é mais uniforme. No entanto, há um grande consumo de água e necessidade de tratamento para evitar problemas ambientais. No processo seco, as fibras são secadas e o ciclo de prensagem é mais curto, aumentando a produtividade do processo. As chapas duras são utilizadas principalmente como fundos de gavetas e armários, aparelhos eletrônicos, revestimentos de painéis divisórios, etc.

- Chapas de fibras de média densidade (*Medium density fiberboard MDF*)

São chapas de fibras de média densificação, podendo variar de 0,50 a 0,80 g/cm³ de densidade, conforme finalidades de uso. É empregado o processo seco, ou seja, as fibras passam pela aplicação de resina uréia-formaldeído e secagem de forma contínua e integrada através de tubos com jatos de ar a alta temperatura. Para aumentar a resistência à umidade, pode ser adicionada a resina melamina-formaldeído. As chapas MDF apresentam estrutura altamente homogênea, com superfícies lisas e permitem usinagem de bordas de alta qualidade. A gama de

utilização de chapas MDF é muito abrangente, principalmente na fabricação de móveis e esquadrias, tais como: partes externas de armários, tampos e pés de mesas, molduras diversas, portas, caixilhos, rodapés, etc.

2.3.2 PRODUTOS MOLDADOS DE MADEIRA

O processo de moldagem da madeira por compressão tem sido utilizado de várias formas, com o objetivo de reduzir o uso e consumo de componentes metálicos e plásticos dos produtos e podem ser realizados com adesivos termoplásticos ou termofixo. Atualmente os mais usados são os polímeros termofixo (GARDNER, 2002).

Em comparação com componentes metálicos e plásticos as principais vantagens e desvantagens de produtos de madeira moldados, segundo Gardner, (2002) são:

Vantagens: Ciclo de prensagem curto, grande volume de produção, superfície (boa qualidade).

Desvantagens: Alto capital inicial de investimento, trabalho intensivo, necessidade de operações secundárias. (GARDNER, 2002).

Os componentes básicos para a fabricação de produtos moldados de madeira são partículas de madeira e resina. Seu processo de produção é similar ao empregado para fabricação do aglomerado.

A madeira é reduzida em pequenas partículas de acordo com o tamanho e as especificações do produto. Após a secagem, o material, é misturado com resina no teor desejado.

Uma vez formado o colchão, o mesmo é depositado no molde para a fase de consolidação da moldagem.

O processo de prensagem consiste de compressão a frio, seguida de compressão a quente.

A operação de prensagem é a tarefa mais crítica do processo de moldagem quando comparado com a dos painéis aglomerados. O tempo de prensagem deve ser suficiente porque o vapor gerado durante o

processo deve ser liberado pelas bordas da chapa. Na fabricação dos produtos moldados, os moldes possuem planos inclinados, dificultando a liberação do vapor e umidade.

Como nos painéis aglomerados, aditivos de vários tipos, tais como catalisador, agente repelente à água, fungicidas, e inseticidas podem ser adicionados durante o processo de fabricação para reunir certas características requeridas no produto final. Outros produtos como, retardantes de fogo e pigmentos coloridos podem ser empregados (GARDNER, 2002).

2.3.2.1 PROCESSOS DE MOLDAGEM

O processo de moldagem por compressão de produtos moldados de madeira é realizado de acordo com o esquema básico apresentado na figura 7, e no qual o molde metálico define a forma do produto por compressão e aquecimento (GARDNER, 2002).

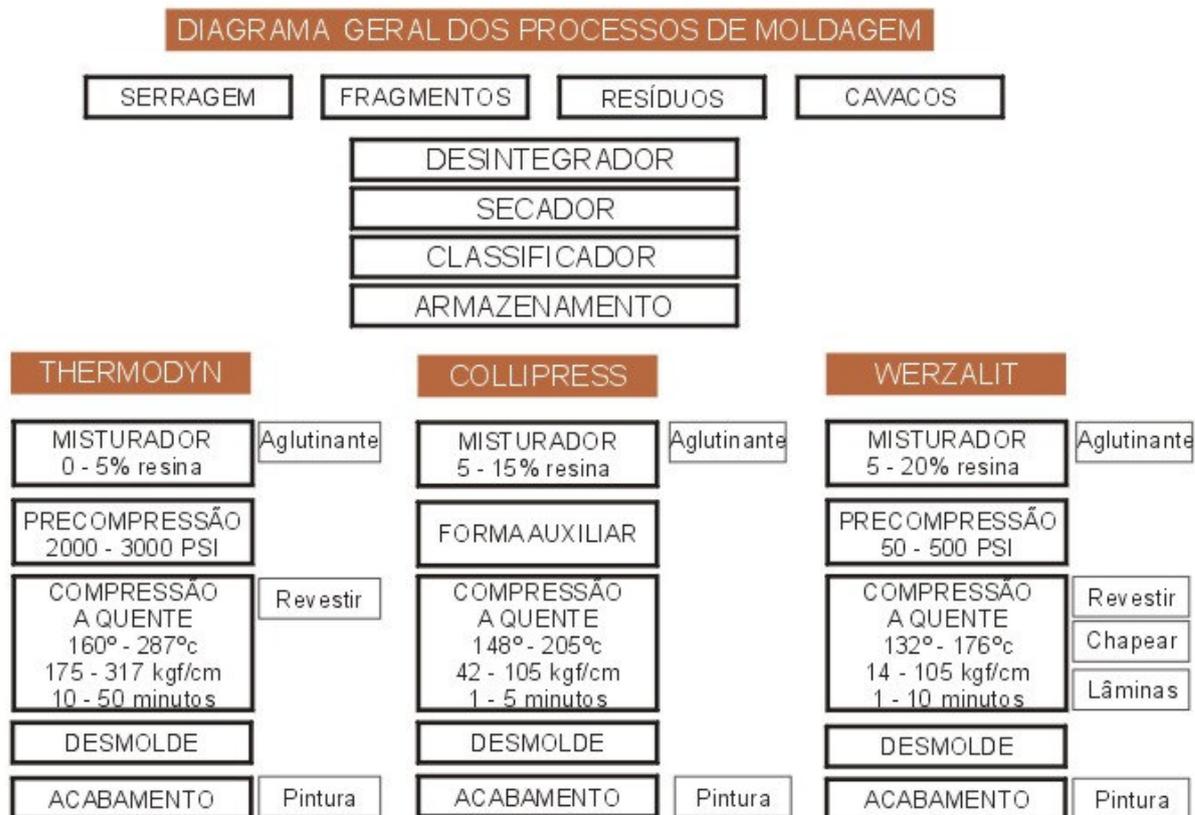
FIGURA 7 - ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM A QUENTE



FONTE: Autor

Os três principais processos de fabricação de produtos moldados de madeira podem ser visualizados na figura 8. Estes processos, embora similar na preparação da matéria-prima, diferenciam-se na quantidade de resina e técnica de compressão (MOSLEMI, 1974).

FIGURA 8 – DIAGRAMA GERAL DOS PROCESSOS DE MOLDAGEM



FONTE: PAGEL (1967)

A origem da matéria-prima é semelhante, podendo ser obtida através de resíduos de madeira até partículas preparadas para este fim.

A etapa posterior à preparação das partículas segue um processo semelhante à fabricação de painéis de madeira reconstituída, que são secagem e classificação das partículas.

As diferenças entre os três processos estão basicamente nas quantidades de adesivo, com variações de 5% a 20% e na fase de prensagem. Os processos *Thermodyn* e *Werzalit* executam uma etapa de pré-compressão do material. O processo *Collipress* tem a acomodação do material em uma forma auxiliar, para depois se efetuar a compressão a quente. As condições de prensagem variam em função da temperatura, tempo de prensagem e pressão aplicada. As variações são em decorrência do tipo de adesivo, geometria das partículas e tipo de molde utilizados. No processo *Werzalit* os revestimentos são aplicados na própria prensagem.

A escolha do processo de moldagem depende também de outros fatores como forma, tamanho, resistência necessária do produto e aparência (MOSLEMI, 1974).

As propriedades dos produtos moldados, tais como resistência mecânica, dureza, textura das superfícies e estabilidade dimensional, são muito importantes em produtos como pára-lamas e portas de automóveis. Estes aspectos podem ser melhoradas modificando a composição da mistura de resinas e os elementos de madeira como fibras e partículas (MARRA, 1992).

Espécies de Madeira para Moldagem

Várias espécies de madeira são utilizadas para fabricação de produtos moldados de madeira, incluindo as espécies de *pinus*, podendo ainda ser utilizada só uma espécie de forma homogênea ou combinada com outras. Com o uso de madeiras de baixa densidade, os produtos moldados apresentam alta resistência à flexão, quando comparados às madeiras de densidade mais alta.

Partículas de madeira de espécie de baixa densidade necessitam um maior volume de material, resultando em maior evaporação durante a prensagem do colchão. Uso de resina natural em madeiras de baixa massa específica, na maioria das vezes termoplástica "in natura", pode causar um certo grau de dificuldade no processo. Isto acontece porque ocorre vazamento na superfície do produto durante a operação de prensagem a quente e isso tende a liberar a resina, que conseqüentemente pode aderir no molde. Semelhante problema, só que em menor escala, ocorre com a maioria das madeiras mais densas.

A prensagem do colchão com madeiras de maior densidade, necessita de menor fator de compressão para sua consolidação. Por outro lado, nas espécies de baixa densidade se requer maior compressão, em função da altura do colchão (GARDNER, 2002).

Monitoramento da Temperatura na Moldagem

Temperaturas uniformes são necessárias em toda a extensão do molde a fim de assegurar a cura do adesivo durante o processo de moldagem do produto. Quando o molde é aquecido, a umidade do material a ser moldado causa a diminuição da temperatura da parede do molde. Esta queda pode resultar no atraso da cura e ampliar o ciclo de prensagem.

Para proceder a cura, deve-se manter alta a temperatura das paredes do molde. Isto pode resultar em degradação do colchão e ocorrer problemas no acabamento de algumas partes do produto. Portanto, é necessário controlar a temperatura do molde.

O aquecimento excessivo das paredes do molde pode resultar na cura prematura do adesivo gerando problemas de ligação entre as partículas (GARDNER, 2002).

Influência da Umidade na Moldagem

Na tabela 2 são apresentadas as vantagens e desvantagens em relação à quantidade de umidade do material e sua influência no processo de moldagem, (GARDNER, 2002).

TABELA 2 - INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA MOLDAGEM

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<p>Alta umidade</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Menor tempo de fechamento da prensa. 2. Melhor controle de densidade. 3. Melhor transferência de calor. 4. Plasticização da madeira 	<p>Alta umidade</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Menor densidade do produto. 2. Baixa ligação interna. 3. Maior possibilidade de delaminação.
<p>Baixa umidade</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Melhores propriedades. 2. Menor tempo de prensagem. 3. Menos problemas de ligação interna. 4. Maior uniformidade no perfil da densidade. 	<p>Baixa umidade</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Alta absorção de água. 2. Faces mais ásperas. 3. Diminuição na plasticização da madeira. 4. Transferência de calor mais lenta. 5. Problemas com adesão.

FONTE: GARDNER (2002)

A seguir, são apresentados alguns processos de moldagem citados por Rowell (2001), com variação na aplicação do sistema de matrizes com resinas termoplásticas ou termofixo, e com diferentes tipos de fibras lignocelulósicas. Fibras de plantas como Juta e linho são dois materiais muito usados nos compósitos para painéis internos e portas, na indústria automotiva (ROWELL, 2001).

Em matrizes termoplásticas podem ser utilizadas fibras lignocelulósicas de baixa densidade, as quais são de menor custo, não abrasivas, e têm excelentes propriedades mecânicas para fabricação de vários produtos, em função de fatores como baixo custo, disponibilidade e reciclabilidade (ROWELL, 2001).

- Moldagem com Composto Líquido (LCM)

Trata-se de um processo que abrange uma variedade de tecnologias, onde se utiliza resina termofixo líquida. Neste processo de moldagem com composto líquido (LCM), são usadas fibras lignocelulósicas

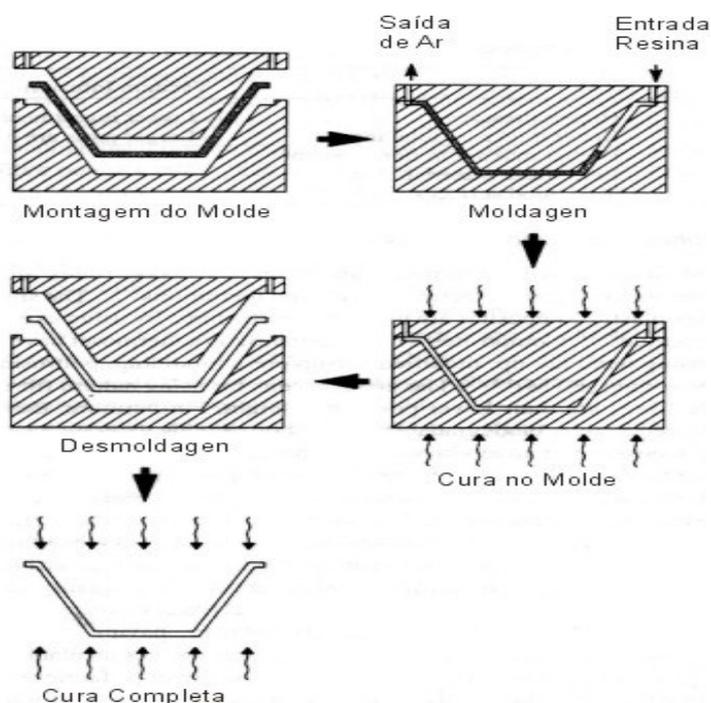
e podem ser utilizadas em projetos com formas complexas. No início dos estudos esta tecnologia estava centrada em ácido fênico-formaldeído e resina melamina (ROWELL, 2001).

- Moldagem por Transferência de Resina (RTM)

Moldagem pela transferência de resina, através de um equipamento para um molde fechado contendo fibras secas para formar o produto. O colchão de fibras é depositado na cavidade do molde e do contramolde sendo presos um ao outro (ROWELL, 2001).

Um sistema de pressão de ar injeta a resina por um ou mais pontos no molde fechado contendo o colchão de fibras. A resina e fibra permanecem no molde até a cura do adesivo, sendo posteriormente desmoldado. O produto pode ser curado na temperatura ambiente ou no molde aquecido (ROWELL, 2001).

FIGURA 9 - ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM RTM



FONTE: FROLLINI (2000)

- Moldagem por Injeção com Reação (SRIM)

Neste processo de moldagem, dois ou mais componentes reativos são misturados e injetados num molde fechado, contendo fibras onde acontece a polimerização e cura. Em muitos casos, o tecido de fibras é pré-moldado usando uma pequena quantidade de resina termoplástica na fibra (ROWELL, 2001).

- Moldagem por Injeção com Reação Reforçada (RRIM)

Este processo de moldagem utiliza fibras lignocelulósicas de plantas, que são previamente misturadas com dois ou mais componentes reativos, antes da injeção no molde. Como a viscosidade é mais alta, deve ser usada alta pressão de injeção, quando comparada com o processo anterior (SRIM) (ROWELL, 2001).

- Compósitos Moldados por Folhas (SMC)

Fibras lignocelulósicas, cortadas ou contínuas, são usadas no processo (SMC) com resina de poliéster não saturado, composta por um agente que o torna mais denso. As partículas de enchimento são extrudadas entre folhas (plástico), sendo refrigeradas, dando maior densidade à resina. As folhas são moldadas por compressão com pressão moderada. No final do processo de prensagem se inicia a cura total pelo aquecimento (ROWELL, 2001).

- Pultrusion

Na tecnologia *pultrusion*, fibras lignocelulósicas de plantas em forma de fios, são levados numa solução de resina e conformada em molde. Fibra de Vidro é o material padrão mais utilizado atualmente,

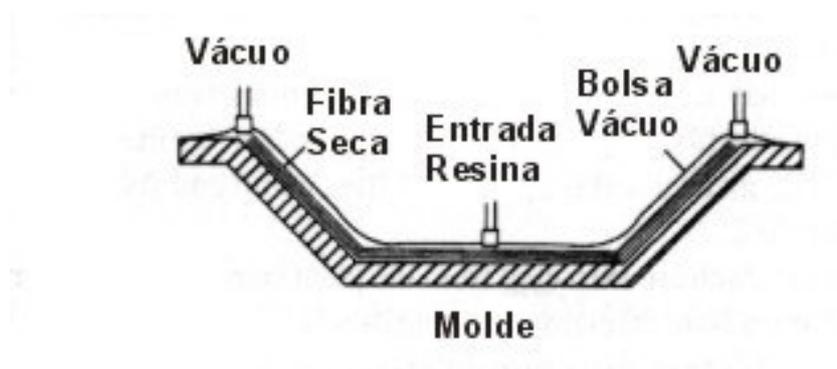
contudo, fibras longas, tais como juta, linho, e outras estão sendo usadas com êxito. Fibras de Juta em forma de *rovings* (rolo de fibra), têm sido utilizadas para molduras de portas e cantoneiras de teto, com resina fenólica. As fibras de plantas são muito mais baratas que vidro e suas propriedades mecânicas satisfazem aos padrões desejados de desempenho dos produtos (ROWELL, 2001).

- Moldagem a Vácuo

O processo de moldagem a vácuo, combina fibras de madeira com outros materiais que ajudam na ligação dos elementos, e faz com que a quantidade de produtos desenvolvidos a partir de fibras venha a aumentar (FROLLINI, 2000).

Moldagem por vácuo formado de fibra de madeira e termoplásticos tem se tornado um processo utilizado na indústria por apresentar baixo custo, e alta resistência (FROLLINI, 2000).

FIGURA 10 - ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM A VÁCUO



FONTE: FROLLINI (2000)

Trata-se de um processo onde, as fibras secas, são depositadas num molde, é aplicada resina e vácuo para conformação. O produto apresenta densidade desuniforme, que pode ser causada pelo desenho inadequado do molde, e também pela característica do processo, resultando em problemas que interferem na obtenção de sucesso desta técnica (LIU, 1997).

2.3.2.2 EXTRUSÃO E INJEÇÃO

Nos processos de extrusão e injeção os equipamentos e as técnicas são as mesmas empregadas na indústria de plásticos, com pequenas modificações na preparação da matéria-prima. Estas pesquisas que vêm sendo denominadas de “plástico/madeira” têm valorizado o aproveitamento de resíduos de madeira, como pó e farinha de madeira industrializada, que, processados com adesivos termoplásticos, possibilitam uma diversidade de recursos para melhorar as características dos materiais utilizados em móveis e componentes para construção civil (DARDENE, 2003).

A madeira e o plástico são combinados usando a tecnologia da mistura por aquecimento e fusão. A produção do compósito “plástico/madeira”, normalmente, envolve o processo de extrusão. As matérias-primas (plástico e madeira) são misturadas em uma extrusora, formando os granulados, Youngquist (1995), apud (YAMAJI, 2004).

O uso de fibras de madeira e polímeros vem aumentando, mas um problema acompanha estas pesquisas, a higroscopicidade da madeira, isto é, a capacidade que a mesma tem de absorver umidade, gerando um excesso de umidade nas fibras que precisa ser retirado durante o processo de mistura com plástico. Quando esse procedimento não é observado, defeitos como espaços vazios e lacunas aparecem nas peças (DARDENE, 2003).

Estão sendo desenvolvidas extrusoras equipadas com dupla rosca para girar em contra-rotação, desenhadas para fibras de madeira com umidade entre 1% e 8%. As extrusoras são acopladas com sistemas que retiram a umidade interna (DARDENE, 2003).

Segundo Dardene (2003), o ciclo deste processo de extrusão se compõe basicamente de cinco funções distintas: entrada da matéria-prima e secagem das fibras de madeira, fusão do polímero, homogeneização da mistura de fibras de madeira e polímero, e bombeamento da mistura através do cabeçote. O sistema funde o polímero e mistura à madeira já

seca na própria extrusora. As temperaturas do material extrudado na saída variam em torno de 170°C a 185°C. Temperaturas acima de 200°C devem ser evitadas para reduzir degradação das fibras de madeira.

Na injeção de produtos com o material moldado mistura "plástico/madeira", geralmente obtida a partir da extrusão, pode conter até 80% de pó ou farinha de madeira industrializada (DARDENE, 2003).

Os processos empregados para fabricação de produtos de madeira moldada apresentam benefícios que os tornam atraentes comercialmente, tais como:

- Custo baixo.
- Peças tridimensionais altamente funcionais.
- Furos e texturas geradas direto na moldagem das peças.
- Alta resistência dos produtos.

2.3.2.3 MOLDES

Embora tecnicamente não se tenha limite para o desenvolvimento do design em madeiras, as possibilidades de produtos moldados se ampliam. Porém, são necessários alguns cuidados no planejamento das operações para se obter sucesso na fabricação desses produtos, tais como:

a)O produto moldado deve ser de baixo custo.

b)O volume de produção deve ter quantidade necessária para amortizar o custo de equipamentos e moldes.

Os moldes são usualmente feitos de aço e formados a partir da combinação de duas partes: macho e fêmea. A fêmea é representada pela "cavidade", e o macho, pela parte "saliente". A parte "oca" do molde, responsável pela forma e acabamento da superfície externa do produto, pode também receber o nome de "matriz". A parte que origina a superfície interna da peça é chamada de "macho" (GUEDES, 1986).

O design de um produto sem ângulos positivos (abertos), pode dificultar o desmolde devido à união mecânica produzida pelo atrito da

superfície. Formas com defeitos podem causar problemas na produção, tais como: limpeza entre molde e o produto, superfície áspera transferida para o produto, o que danifica aparência da superfície (MOSLEMI, 1974).

Ângulos de desmoldagem, ângulos de saída ou ângulos de extração são inclinações dadas às paredes das cavidades e aos contornos dos machos dos moldes, com o objetivo de facilitar a remoção das peças do interior do mesmo (GUEDES, 1986).

A qualidade do produto moldado, depende da redução ou eliminação dos problemas associados com o desmolde.

As paredes das peças devem, sempre que possível, ser uniformes e da mesma espessura. Quando houver necessidade de espessuras diferentes, nas várias seções das peças, a transição de uma espessura para outra deve, sempre que possível, ser gradual. Os cantos da peça, com exceção dos formados no plano de fechamento do molde, devem ser arredondadas com raios amplos, com valores entre 0,2 e 0,5 vez a espessura das paredes do produto (GUEDES, 1986).

Um aspecto importante no desenho dos moldes para moldagem de peças, produzidas com partículas de madeira aglomeradas, são as aberturas para liberação do vapor, durante a prensagem. As perfurações devem estar localizadas em pontos estratégicos para evitar a concentração de vapor, e umidade, e como consequência resultam em delaminação das camadas internas do produto (MOSLEMI, 1974).

Para não apresentar defeitos nas bordas das peças moldadas, podem ser criados filetes ao longo de todo o contorno externo destas bordas livres, o que além de facilitar a construção do molde e evitar dificuldades no processo, aumentam a resistência mecânica e dão um melhor acabamento no produto (GUEDES, 1986).

Os fatores mais importantes para o desenvolvimento de produtos moldados por compressão são:

Fatores inerentes à geometria do molde: Espessura da parede, localização e direção da pressão no molde, prensagem unidirecional ou multidirecional na moldagem.

Fatores inerentes ao Processo de Produção: Aquecimento do molde, velocidade de fechamento da prensa, pressão específica (kgf/cm^2), tempo de aquecimento, tempo de cura, tempo de desmoldagem (GARDNER, 2002).

2.3.2.4 FASES DO PROCESSO DE MOLDAGEM

O processo de moldagem é dividido em duas fases: Primeiro, a pré-compressão do material para geração de peças com superfícies de baixa profundidade. Segundo, a compressão capaz de gerar impressão profunda de saliência de forma destacada, consolidando o produto.

O processo de pré-compressão é realizado a baixa pressão (aproximadamente 40 libras por pés cúbicos) para acomodar o material através de uma forma intermediária.

Na fase de compressão é realizada a conformação e consolidação do produto, através do processo similar ao empregado na fabricação do aglomerado (MOSLEMI, 1974).

O uso de moldes de alumínio assegura a rápida transferência de calor para o material a ser moldado e possibilita cura uniforme do adesivo em todas as partes do produto.

2.4 UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS MOLDADOS DE MADEIRA

HISTÓRICO DA MADEIRA MOLDADA NO DESIGN

Já por volta de 3000 a.C., há registros do uso de lâminas de madeira no Egito Antigo, obtidos com o uso de serra manual e colagem por adesivo à base de albumina (PENTEADO e SANTOS 2004). Essa técnica foi posteriormente aprimorada pelos assírios, babilônicos e finalmente pelos romanos.

Contudo, foi a partir do século XIX, período de grande industrialização na Europa, que a tecnologia de moldagem de madeira começou a se desenvolver de uma forma mais decisiva. É dessa época o surgimento da famosa fábrica de *Michael Thonet* em 1839 na Alemanha; seu trabalho influenciou diretamente vários outros fabricantes e até mesmo escolas, como a Bauhaus.

O trabalho visualmente leve e sem adornos desnecessários de *Thonet*, contrastava com a produção de outras fábricas, as quais utilizavam basicamente madeira maciça e técnicas de marchetaria, torneamento, folheamento a ouro, pintura manual, entre outras. A figura 11 a seguir mostra exemplos de mobiliário fabricado a partir da madeira maciça. No caso destes exemplos, os móveis são típicos do movimento estético inglês e da sinuosidade orgânica do *Art Nouveau* (FIELL,2000).

FIGURA 11 - MÓVEIS MACIÇOS DO ARTS & CRAFTS

			
Movimento Estético: Armário folheado a ébano, 1870.	Arts&Crafts : Mobiliário da Gamble House, 1908.	Cadeira, Eugene Gaillard, 1905.	Pedestal, de Eugène Gaillard, 1901-02.

FONTE: FIELL (2000)

O trabalho de *Thonet* teve como grande inovação o arqueamento de madeira por vapor, o que possibilitou a ele produzir móveis populares e baratos, em evidente contraste com outras fábricas da época. Contudo, o movimento *Art Nouveau* também influenciou o trabalho de *Thonet*, e isso é bastante visível no desenho sinuoso de várias peças, principalmente nas cadeiras, como pode ser observado na figura 12 (FIELL, 2000).

FIGURA 12 - CADEIRA MICHAEL THONET, 1859

FONTE: FIELL (2000)

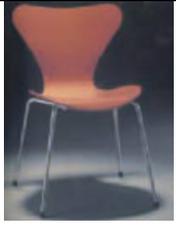
Os países escandinavos são reconhecidamente o lugar onde houve a maior evolução da tecnologia e o design de produtos à base de madeira

moldada. A qualidade dos móveis escandinavos feitos em madeira moldada se deve principalmente a dois fatores: a forte herança artesanal em mobiliário residencial, e a abundância de madeira (FIELL, 2000). Estas mesmas características aliadas a uma consistente e ininterrupta pesquisa fazem com que, ainda hoje, Suécia, Dinamarca e Finlândia continuem produzindo produtos inovadores tanto em chapa laminada moldada quanto na nova técnica de fibra de madeira moldada. Foram os primeiros a utilizar a moderna técnica de laminados de madeira, produzidos graças aos novos adesivos sintéticos (fenol e uréia-formaldeído) desenvolvidos nos anos 30 (FIELL, 2000).

Na década de 50, muitos outros profissionais se destacariam, entre eles, os dinamarqueses *Tapio Wirkalla* e *Arne Jacobsen*, este último, criador da atemporal cadeira Ant (Formiga), vendida até hoje em diversas lojas de design do mundo inteiro, inclusive no Brasil.

Também é relevante o trabalho do sueco Bruno Mathsonn, com suas famosas cadeiras de chapas de madeira laminada e dobradas, cânhamo trançado e assentos de faia, conforme podemos ver na figura 13 (FIELL, 2000).

FIGURA 13 - MÓVEIS DE MADEIRA CURVADA

				
Cadeira Paimio nº 41, Alvar Aalto, 1930-31.	Bancos mod. Nº X600 e X601, Alvar Aalto, 1954.	Cadeira modelo nº 3107 série 7, Arno Jacobsen, 1955	Cadeira de madeira laminada, Tapio Wirkalla, 1955.	Cadeira de descanso e chaiselongue Pernilla, Bruno Mathsonn, 1934.

FONTE: FIELL (2000)

Basicamente a utilização da madeira era em forma de lâminas ou madeira sólida curvada, sem o uso de partículas ou fibras moldadas.

A escola alemã *Bauhaus* foi o ponto de origem do design moderno, e a madeira também foi bastante utilizada, principalmente na oficina de mobiliário, dirigida durante alguns anos por *Erich Dieckmann*. Ali foram desenvolvidos vários produtos, figura 14, sendo alguns com peças ou chapas de madeira moldada, embora a maioria ainda fosse de madeira maciça, (FIELL, 2000).

FIGURA 14 - CADEIRAS DA BAUHAUS

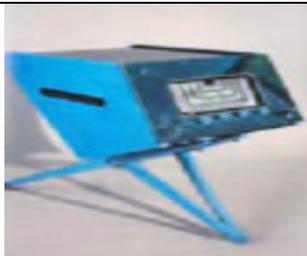
		
Cadeira da oficina de mobiliário da Bauhaus, Erich Dieckmann, 1926.	Cadeira de braços, Erich Dieckmann, 1931.	Cadeira Nº ti2 e Banco Nº ti3, Marcel Breuer, 1924.

FONTE: FIELL (2000)

Aplicações da Madeira Moldada em Outros Produtos

Para além do mobiliário, podemos encontrar a madeira em diversos produtos, entre eles equipamentos eletro-eletrônicos, como rádios, toca-discos, televisores e afins, como se pode observar na figura 15.

FIGURA 15 - PRODUTOS ELETRÔNICOS COM MADEIRA

		
Toca-discos e rádio Phonosuper, Hans Gugelot e Dieter Rams, 1956.	Toca-discos Beogram 4000, Jakob Jensen, 1972.	Rádio e fonógrafo, Carlo Mollino, 1949.

FONTE: FUAD LUKE (2002)

Tendências no Design em Madeira Moldada

Produtos como lâminas de madeira moldada têm cada vez mais motivado os designers. O desafio é fabricar peças com formas curvas e com poucos elementos. Assim como os denominados “compensados anatômicos”, aqueles que com formas em curvas são confortáveis ao ser humano (FUAD LUKE 2002).

FIGURA 16 - PRODUTOS ATUAIS DE MADEIRA MOLDADA

				
Zanzi Stool, Boris Berlin e Poul Christiansen.	Pilo Oval, Boris Berlin e Poul Christiansen.	Cadeira n º 167, Anna von Schewen	Cadeira nº 07, Hans J. Wegner, 1963.	KANTO, Pancho Nikander 2004

FONTE: FUAD LUKE (2002)

Já a moldagem com partículas de madeira, foco do presente trabalho, é uma tecnologia mais recente, ainda em desenvolvimento. As aplicações mais comuns são em assentos de cadeiras e poltronas, painéis internos e interior de portas de automóveis, aparelhos eletro-eletrônicos, entre outros (FUAD LUKE 2002).

FIGURA 17 - PRODUTOS MOLDADOS DE FIBRAS E PARTÍCULAS DE MADEIRA

		
Imprint, Peter Hiort-Lorenzen e Johannes Foersom, 2002		Televisor portátil Jim Nature, Philippe Starck, 1994.

FONTE: FUAD LUKE (2002)

Nos últimos anos têm-se desenvolvido diversos materiais compósitos que utilizam fibras naturais. Segundo FUAD LUKE (2002), esses materiais apresentam aplicações variadas, que vão desde tapetes, chapas e paletes, até vigas estruturais e blocos usados na construção civil, conforme se pode observar na legenda da figura 18. Aplicações que apresentam boa aceitação especialmente nos Estados Unidos e Europa, começam a ser pesquisadas no Brasil.

FIGURA 18 - NOVOS MATERIAIS A BASE DE FIBRAS DE MADEIRA

				
Erosamat tipo 1, 1 ^A e 2, painéis antierosão feitos de fibra de juta e de casca de coco.	Faswall, sistema modular de construção feito com resíduos de madeira (85%) e cimento Portland	Masonite CP, feito de fibra longa de madeira comprimida a alta pressão	Medite ZF, com fibras de madeira e resina sem formaldeídos, a alta pressão	Pallets feitos por compressão de fibra obtida de resíduos de madeira e resina

FONTE: FUAD LUKE (2002)

O potencial brasileiro é particularmente grande devido à variedade de resíduos de madeira aproveitáveis, conforme aponta Savastano Junior (1998).

Desta forma as pesquisas em moldagem de produtos à base de elementos de madeira, têm cada vez mais atraído os profissionais da área do design, visando sua aplicação em projetos (SAVASTANO JUNIOR (1998).

a) **Fase 1 - Experimento preliminar:** Foram realizados estudos com o objetivo de ampliar o entendimento sobre os parâmetros do processo de fabricação de produtos moldados e seu comportamento em situação real, em termos de composição do material e configuração de peças e forma dos moldes. Os parâmetros do processo de fabricação definidos para esta fase foram:

- Densidade;
- Partículas de diferentes madeiras e formas granulométricas;
- Conteúdo de adesivo;
- Diferentes tipos de adesivos.

b) **Fase 2 - Experimento principal:** Foram fabricadas chapas, utilizando diferentes tipos de adesivos e condições de prensagem, para avaliar os melhores resultados sobre as propriedades mecânicas de cada composição dessas chapas. Foi mantido o mesmo tipo de "farinha de madeira" (partículas) e alternado o tipo de adesivo e formação do colchão.

Os Parâmetros do processo de fabricação definidos para esta fase foram:

- Densidade nominal : 0,70 g/cm³;
- Partículas : "farinha de madeira" de *pinus spp.* com granulometria controlada;
- Tipo de adesivo: Uréia-formol (UF), Melamina-ureia-formol (MUF) e Poliacetato de Vinila (PVAc);
- Quantidade de adesivo: 10 e 20% (base peso seco de partículas);
- Teor de umidade das partículas: 5 a 7 %;
- Tempo de prensagem: 5, 6 e 10 minutos;
- Temperatura de prensagem: 25°C (UF), 130°C (MUF), 90°C (PVAc);
- Dimensões das chapas: 45 x 45 x 1 cm;
- Número de repetições: 2 chapas por tratamento.

c) **Fase 3 - Experimento complementar:** A partir do melhor tratamento em termos de propriedades mecânicas das chapas referentes ao experimento principal, foi realizada moldagem dos produtos em moldes de alumínio, visando avaliar as suas características.

Os Parâmetros do processo de fabricação definidos nesta fase foram:

- Composição definida com base no melhor tratamento do experimento principal;
- Prensagem por compressão em moldes de alumínio com macho e fêmea, com diferentes formas;
- Tempo de prensagem: 15 minutos;
- Peças com duas espessuras, 9mm (molde 1) e 5mm (molde 2);
- Densidade nominal diferente em função das espessuras: 0,9 g/cm³ (molde 1) e 1,0 g/cm³ (molde 2);
- Moldagem de dois tipos: Com curvas e ângulos;
- Número de peças: 2 repetições por molde.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Partículas de Madeira

Foram utilizadas partículas de madeira de *pinus spp.* procedentes da empresa Inbrasfama Ind. Brasileira de Farinha de Madeira Ltda., localizada em São José dos Pinhais na região metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. O material conhecido como “farinha de madeira” com granulometria controlada é produzido a partir de resíduos como serragens, cepilhos e aparas de madeira com as seguintes características: percentagem de retenção nas malhas MESH de 30=15,2%, 40=55,6%, 50=18,6%, 60=3,8%, 70=5,8%, 80=0,6%, 100=0,4%; densidade =

0,24 g/cm³. O material é caracterizado comercialmente como um produto padronizado e codificado sob o nº 2042.

Resinas

Foram utilizados os seguintes tipos de resinas: Melamina-Uréia-Formol (MUF), contendo 65-67% de sólidos resinosos; Uréia Formol (UF), para prensagem a frio ou a quente com baixa emissão de formol, contendo 64-66% de sólidos resinosos; Poliacetato de Vinila (PVAc), contendo 49-51% de sólidos. As resinas foram doadas pela empresa Borden Química, produzida na planta da cidade industrial de Curitiba.

Tecido

O tecido comercial de sisal natural formado por um fio de aproximadamente 1mm em trama de 5mm x 5mm, foi utilizado na formação do colchão e denominado, nesta pesquisa, de "armado".

FIGURA 20 - TECIDO DE SISAL



FONTE: Autor

Moldes

O molde 1, em alumínio fundido foi confeccionado especialmente para a moldagem das peças, elaborado com desenho de uma gaveta com dimensões de 48cm x 35cm x 9cm, pesando 32kg, e apresentando ângulos de 60° e curva de raio de 100mm. O molde foi confeccionado com

algumas perfurações em linha, com diâmetro de 2mm, dispostos de forma estratégica para possibilitar a evaporação dos gases durante a compressão (figura 21).

FIGURA 21 – MOLDE 1 COM DETALHE DA FURAÇÃO



FONTE: Autor

O molde 2, foi confeccionado em alumínio tipo naval, usinado por prototipagem rápida, utilizando dois tipos de tratamento superficial, sendo a face do molde macho polida e a face do molde fêmea texturizada, para avaliação do acabamento superficial da peça moldada.

O molde ilustrado na figura 22, apresenta as características de uma peça tridimensional côncava com cavidade de aproximadamente 50mm de profundidade, com ângulos próximos de 90° e curvas de concordância. O produto moldado terá dimensões de 150 x 100 e 50mm de profundidade, com parede de 5 mm de espessura, e possibilitando o corte dimensional da peça pelo próprio molde.

FIGURA 22 - MOLDE 2 EM ALUMÍNIO USINADO POR PROTIPAGEM RÁPIDA

FONTE: Autor

3.3 METODOLOGIA DE FABRICAÇÃO DOS PRODUTOS

3.3.1 FASE 1 - EXPERIMENTO PRELIMINAR

O experimento preliminar teve por finalidade avaliar algumas técnicas e desenvolvimento de conceitos da moldagem por compressão de peças com diferentes geometrias dos moldes, como apresentados a seguir:

Elaboração de moldes de cimento e areia, e moldagens de partículas com resinas por compressão a frio.

O molde de cimento e areia, com a geometria apresentando curvas e cavidades. Desenvolvido para analisar o processo de formação do colchão de partículas na moldagem de um produto com resinas de cura em temperatura ambiente bem como as características do produto final. Molde em tamanho reduzido medindo 100mm de largura por 200mm de comprimento, apresenta o formato de gaveta com cavidade de 30mm interna em baixo relevo, bordas laterais e uma curva frontal em forma de puxador, para obter um produto com 9mm de espessura. O molde é composto de duas peças (macho e fêmea) para moldar o produto com prensagem a frio.

Experimentos com fibras e partículas de algumas espécies de madeira, pinus, araucária e cambara.

Confecção de moldes de alumínio em dois formatos diferentes e pré-testes de moldagem do produto através de compressão a quente.

Para moldagem de produtos de madeira reconstituída com resinas de prensagem a quente, o molde em alumínio apresenta um custo mais baixo do que o molde em aço, além de possuir boa condução térmica.

O peso total do molde foi de 32 kg, e foi executada uma série de furos no molde fêmea (parte superior do molde) em posições ideais para possibilitar a evaporação da umidade. Este molde foi utilizado na fase 3 - experimento complementar, denominado como Molde 1.

Com dimensões superficiais menores do que o anterior, este molde tem uma configuração com profundidade de 50mm, isto é, com uma relação de alto e baixo relevo mais acentuada, e com espessura das paredes do produto mais finas, de 5mm. O molde possui delimitadores de espessura, uma caixa (vazada), e pinos guias para moldagem. Não apresenta perfurações para eliminação da umidade do material, sendo o vapor eliminado pelas bordas. Apresenta melhor acabamento superficial, sendo polido internamente e texturizado externamente, resultando em uma moldagem com dimensões geométricas mais definidas. Este molde foi utilizado na fase 3 - experimento complementar, denominado como Molde 2.

3.3.2 FASE 2 - EXPERIMENTO PRINCIPAL

No experimento principal foram fabricados painéis com diferentes tratamentos, visando a seleção do melhor tratamento com base nas propriedades de módulo de elasticidade, módulo de ruptura em flexão estática, compressão paralela e ligação interna para aplicação na fase 3.

3.3.2.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental estabelecido para esta fase da pesquisa (tabela 3) consistiu da combinação de 4 fatores: 3 tipos de resinas - Melamina-Uréia-Formol (MUF), Uréia Formol (UF) e Poliacetato de Vinila (PVAc); 2 níveis de resinas - 10 e 20% de sólidos resinosos sobre peso seco de partículas; 2 métodos de formação do colchão "armado", com tecido de sisal, e "convencional" com partículas depositadas na caixa formadora; 2 tempos de prensagem para cada tipo de adesivo. Para cada tratamento foram confeccionadas 2 chapas.

TABELA 3 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

VARIÁVEIS	CASO 1		CASO 2		CASO 3		CASO 4		CASO 5		CASO 6					
RESINA	PVAc 10%		PVAc 20%		MUF 10%		MUF 20%		MUF 10%		MUF 20%		UF 10%		UF 20%	
COLCHÃO	Convenc.		Convenc.		Convenc.		Convenc.		armado		armado		Convenc.		Convenc.	
PRESSÃO	40Kg/Cm ²		40Kg/Cm ²		40Kg/Cm ²		40Kg/Cm ²									
TEMPERATURA	90°C	85°C	90°C	85°C	130°C		130°C		130°C		130°C		A FRIO		A FRIO	
TEMPO min.	6	5	6	5	6	10	6	10	6	10	6	10	3hs.	5hs.	3hs.	5hs.
TRATAMENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16

*Em todas os casos empregou-se madeira de partículas cód.2042.

3.3.2.2 QUANTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DAS CHAPAS

Os procedimentos para quantificação dos componentes utilizados para a fabricação das chapas estão descritos a seguir:

Massa de Partículas

- Massa de partículas a 12% de umidade (g) denominada de (M).
- Densidade da chapa a 12% de umidade (g/cm³) denominada de (D).
- Volume da chapa (cm³) denominada (V).
- Onde a massa é a densidade x o volume ($M = D \times V$).
- Peso da peça após acondicionamento a $\pm 19-20^\circ\text{C}$ e $\pm 60\%$ UR ($P = D \times V$).

Desta forma foi obtida a massa de partículas necessária para cada chapa, com 12% de umidade.

Em chapas com 12% de umidade tem-se:

100 partes de partículas a 0% de umidade;

10 partes de sólido resinoso;

12 partes de água.

Sendo 122 partes correspondente a M (peso da chapa a 12% de umidade), para o cálculo da massa de partículas a 0% de umidade, tem-se:

$M\emptyset = (M \times 100)/122$, onde $M\emptyset$ é a massa de partículas a 0% de umidade (g).

A partir de $M\emptyset$ calculou-se a massa de partículas necessária para qualquer teor de umidade com a seguinte fórmula.

$M_n = (n/100 + 1) \times M\emptyset$, sendo (M_n) massa de partículas a um determinado teor de umidade (n).

Quantidade de Adesivo

As quantidades de adesivo (sólido resinoso) estabelecidas na pesquisa foram de 10 e 20% sobre o peso de partículas secas.

Para 10% de adesivo tem-se:

$AS = M\emptyset \times 10/100$, onde (AS) é a quantidade de adesivo na forma sólida (g).

Como os adesivos normalmente são utilizados na forma líquida, faz-se necessária a transformação do adesivo da forma sólida para a líquida .

$AL = AS \times 100/TS$, onde (AL) é o adesivo na forma líquida (g), e (TS) se refere ao teor de sólidos do adesivo (%).

Quantidade de Catalisador

A quantidade de catalisador utilizada varia de acordo com o tipo de adesivo e condições de prensagem.

O cálculo do catalisador é realizado sobre a quantidade de adesivo na forma sólida e líquida.

$CS = n/100 \times AS$, onde (CS) é a quantidade de catalisador sólido (g) e (n) é o percentual de catalisador requerido para o adesivo (%).

$CL = n/100 \times AS$, onde (CL) é a quantidade de catalisador Líquido (g) e (n) é o percentual de catalisador requerido para o adesivo (%).

3.3.2.3 FABRICAÇÃO DAS CHAPAS

a) Preparação dos Materiais

As partículas (farinha de madeira) foram secas em estufa à temperatura de $102^{\circ}\text{C} \pm 2$ até atingir conteúdo de umidade em torno de 6 %. Na seqüência elas foram pesadas em uma balança com precisão de 0,01g na quantidade calculada para densidade nominal da chapa de $0,7\text{g}/\text{cm}^3$.

A resina em quantidade pré-estabelecida para cada chapa foi pesada em uma balança eletrônica com precisão de 0,001g.

A quantidade do catalisador líquido determinado em função do sólido resinoso, foi adicionada à resina líquida.

b) Aplicação da Resina

A resina necessária para cada chapa, misturada ao catalisador, foi colocada em uma bureta, no sistema de aplicação. A aspensão da resina nas partículas foi feita com uma pistola de ar comprimido localizada no

interior da encoladeira do tipo tambor rotatório, conforme ilustrada na figura 23.

FIGURA 23 - ENCOLADEIRA TIPO TAMBOR ROTATÓRIO



FONTE: Autor

c) Formação do Colchão

As partículas de madeira encoladas com o tipo de adesivo pré-estabelecido foram colocadas em uma caixa formadora com dimensões laterais de 45 x 45 cm. Tomou-se o cuidado para manter a altura uniforme do colchão através de marcação nas laterais da caixa e o material foi pré-prensado manualmente para acomodação das partículas. Posteriormente foram colocados os espaçadores de 10mm a fim de assegurar a espessura final da chapa, além de uma placa de alumínio sobre o colchão.

Na formação do sistema "armado", as partículas, depois de encoladas, foram pesadas e divididas em duas partes iguais. As partículas foram colocadas na caixa formadora em duas etapas, sendo 50% das partículas encoladas, depois o tecido de sisal com malha de 5 x 5 mm, e sobre o tecido os outros 50 % restantes.

d) Prensagem

A prensagem das chapas encoladas com adesivos para cura a quente foi realizada em uma prensa piloto Siempelkamp, de pratos planos horizontais com aquecimento elétrico. Para as chapas com cura a frio, utilizou-se a mesma prensa, porém sem aquecimento, sendo posteriormente fixadas com suporte metálico e parafusos para manter a compressão até o final da cura do adesivo.

FIGURA 24 - PRENSA PILOTO SIEMPELKAMP



FONTE: Autor

3.3.3 FASE 3 - EXPERIMENTO COMPLEMENTAR

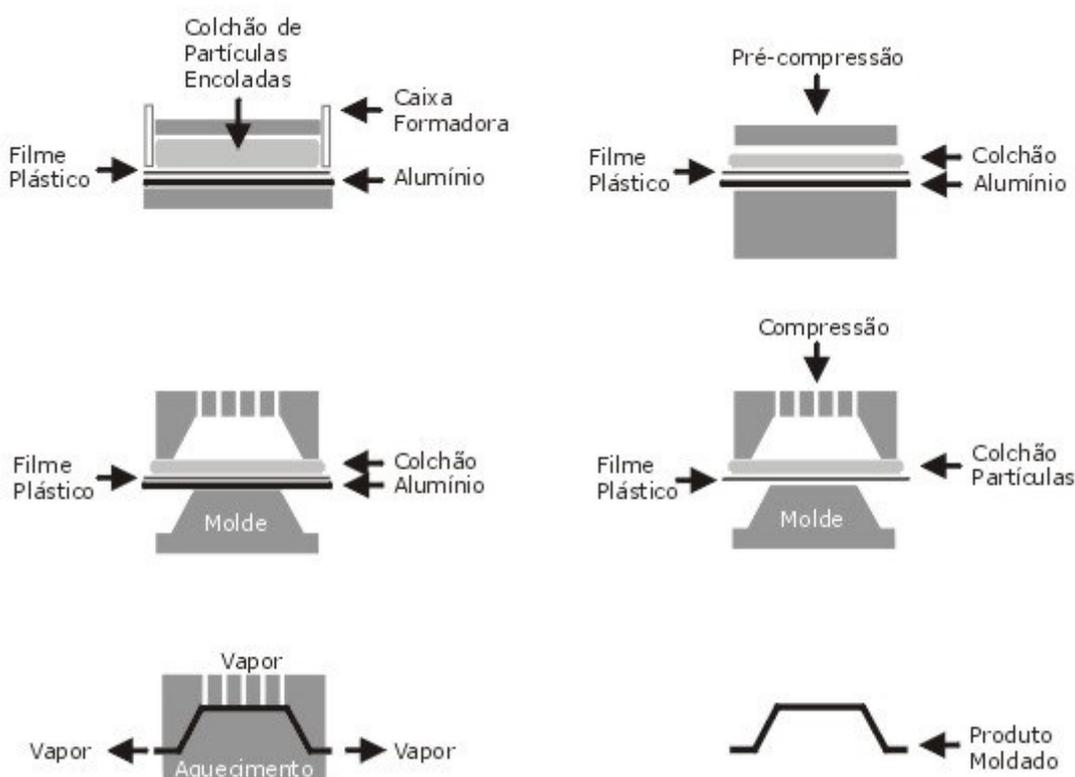
No experimento complementar para moldagem dos produtos foram utilizados o molde 1 fabricado em alumínio fundido e o molde 2 em alumínio naval usinado.

Após a preparação do material, os produtos foram moldados por diferentes métodos de formação e prensagem, conforme descritos a seguir:

a) Método de Prensagem Molde 1 – As partículas de madeira encoladas com adesivo MUF (tratamento T8), foram depositadas em uma caixa formadora com dimensões próximas às do molde, sobre um filme plástico (celofane) medindo 55 x 40 cm, e uma chapa de alumínio de 1mm de espessura. Posteriormente foi feita uma pré-compressão, a frio, com limitadores de espessura de 20 mm. Após esta densificação, o colchão formado foi aplicado no molde. Retirou-se a chapa de alumínio, e

o colchão de partículas se acomodou sobre o molde (macho). Na seqüência, acrescentou-se a outra parte do molde (fêmea) sobre o colchão para posterior compressão a quente para consolidação do produto moldado, conforme pode ser visualizado na figura 25.

FIGURA 25 – ESQUEMA DO MÉTODO DE Prensagem Molde 1

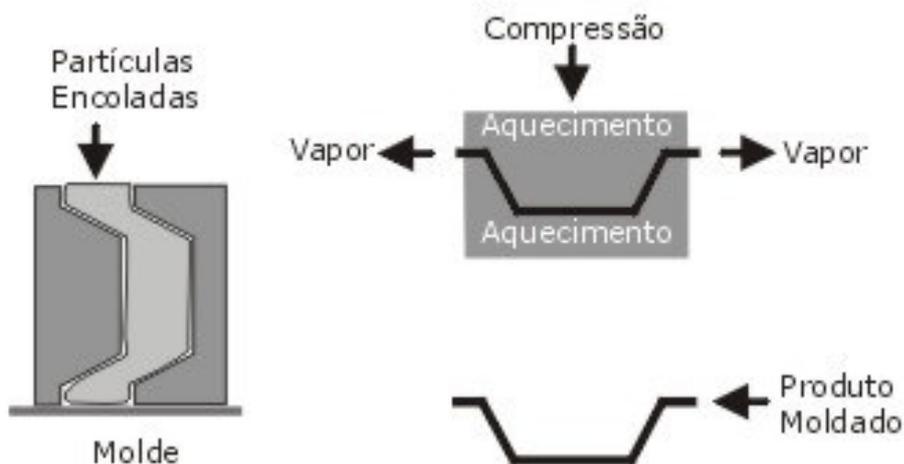


FONTE: Autor

b) Método de Prensagem Molde 2 - As partículas de madeira encoladas com adesivo MUF (tratamento T8), foram depositadas na cavidade do molde, este na posição vertical, com uma distância de 3 cm, (razão de compactação de 1 para 6). Para se obter uma distribuição uniforme do compósito, foi preenchida a cavidade entre as partes do molde por gravidade sem compressão. Posteriormente foi feita a

compressão a quente para consolidação do produto moldado, conforme pode ser visualizado na figura 26.

FIGURA 26 – ESQUEMA DO MÉTODO DE PRENSAGEM MOLDE 2



FONTE: Autor

3.4 PROCEDIMENTOS PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

3.4.1 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após a prensagem, as chapas fabricadas no experimento principal foram identificadas segundo a especificação dos tratamentos, e esquadrejadas com dimensões de 43 x 43 cm. As chapas esquadrejadas foram acondicionadas por dez dias em câmara climatizada a temperatura de $\pm 22^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa $\pm 60\%$.

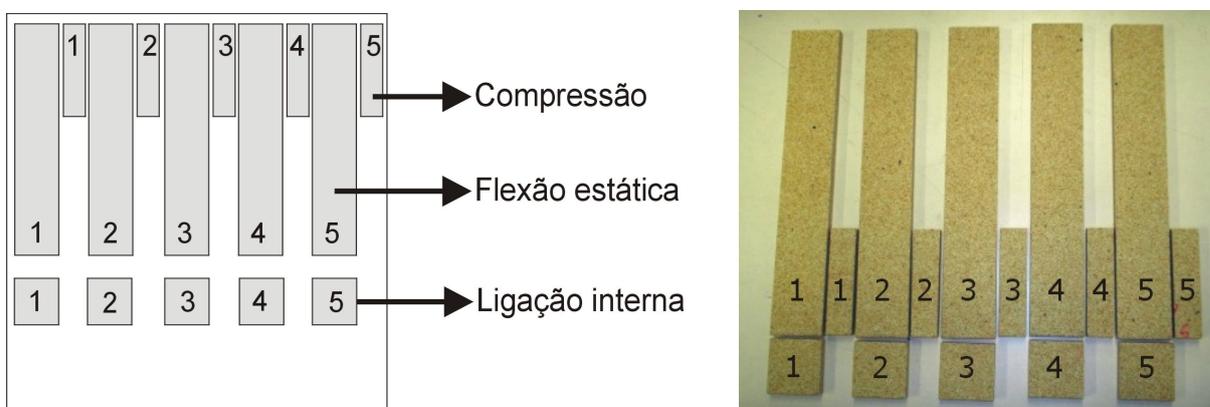
Após este período, foram retirados os corpos de prova para realização dos seguintes ensaios:

- Flexão Estática: 5 corpos de prova por chapa, com as dimensões de 50x304 mm (norma EN 310-2000).

- Compressão Paralela: 5 corpos de prova por chapa, com as dimensões de 25x100 mm (norma ASTM D 3501-1976).
- Ligação Interna: 5 corpos de prova por chapa com as dimensões de 50x50 mm (norma EN 310-2000).

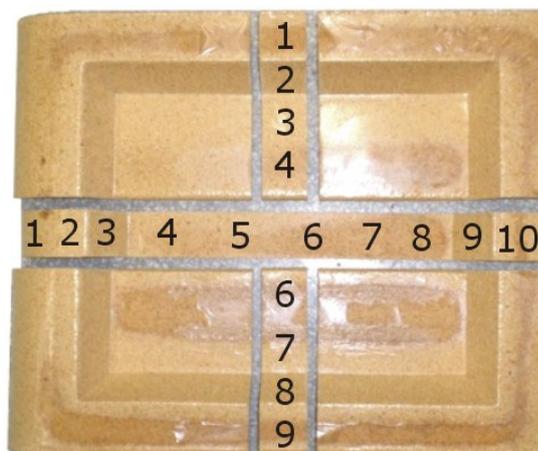
A distribuição dos corpos de prova na chapa encontra-se ilustrado na figura 27.

FIGURA 27 - POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA NA CHAPA



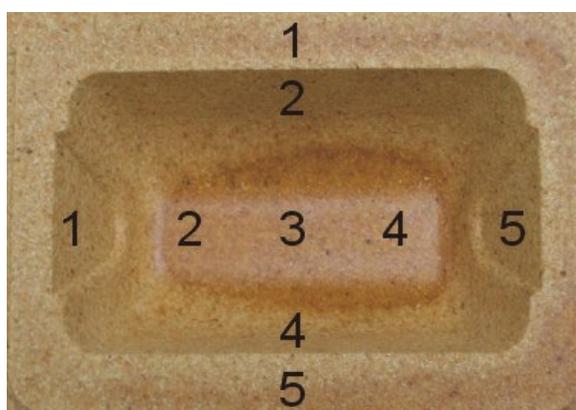
FONTE: Autor

No experimento complementar, foram retirados 18 corpos de prova do produto do molde 1, para determinação da densidade, conforme distribuição apresentada na figura 28. Os pontos foram selecionados conforme os eixos vertical e horizontal, da seguinte forma: 4 pontos nas bordas, 4 pontos nas paredes inclinadas, 7 pontos no interior da peça, 2 pontos no interior onde a espessura é dupla e, por fim, 1 ponto na secção curva. Este procedimento teve como finalidade avaliar a densidade moldagem do colchão com espessura uniforme sobre os perfis diferenciados do molde 1.

FIGURA 28 - POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DO MOLDE 1

FONTE: Autor

No molde 2, foram retirados 9 corpos de prova para determinação da densidade, conforme apresentado na figura 29. Neste molde também os pontos foram selecionados conforme os eixos vertical e horizontal, sendo distribuídos da seguinte forma: 2 pontos nas bordas, 4 pontos nas paredes inclinadas e 3 pontos no interior da peça. Este procedimento teve como finalidade avaliar a moldagem do colchão com espessura uniforme sobre os perfis diferenciados do molde 2.

FIGURA 29 - POSICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DO MOLDE 2

FONTE: Autor

3.4.2 ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

Os ensaios para determinação da densidade, módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, ligação interna (tração perpendicular ao plano da chapa), foram realizados de acordo com a norma EN 310-2000. Para compressão paralela foi utilizada a norma ASTM D 3501-1976.

a) Flexão Estática

Antes da realização dos ensaios foram determinadas as densidades de cada corpo de prova. Para a determinação dos módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) nos testes de flexão estática foi utilizado o equipamento para ensaio universal Emic-10 ton. modelo 10000 DL. (figura 30)

FIGURA 30 - ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA



FONTE: Autor

As fórmulas empregadas para determinação da densidade, MOE e MOR estão apresentadas a seguir:

$$\rho_{12\%} = P_{12\%} / b \cdot h \cdot C$$

Onde:

$\rho_{12\%}$ = Densidade a 12% de umidade (g/cm³);

$P_{12\%}$ = Peso a 12% de umidade (g);

b = base (cm);

h = altura (cm).

C = comprimento (cm).

$$MOE = 1/4 \cdot (Xc \cdot L) / b \cdot h$$

Onde:

MOE: módulo de elasticidade (kgf/cm²)

Xc : carga no limite proporcional (kgf/cm²)

L = vão (cm)

b = base (cm).

h = altura (cm).

$$MOR = 3/2 \cdot (P_{m\acute{a}x} \cdot L) / b \cdot h^2$$

Onde:

MOR= módulo de ruptura (kgf/cm²)

$P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima (kgf).

L = vão (cm)

b = base (cm).

h = altura (cm).

b) Ligação Interna

Os ensaios de ligação interna foram realizados em uma máquina de ensaios universal TIW com capacidade de 10ton, em corpos de prova colados entre duas peças de madeira maciça com cola de PVAc (figura 31).

FIGURA 31 - ENSAIO DE LIGAÇÃO INTERNA

FONTE: Autor

c) Compressão Paralela

Os ensaios de compressão paralela foram realizados no equipamento para ensaio universal Emic-10 ton. modelo 10000 DL. (figura 32).

FIGURA 32 - ENSAIO DE COMPRESSÃO

FONTE: Autor

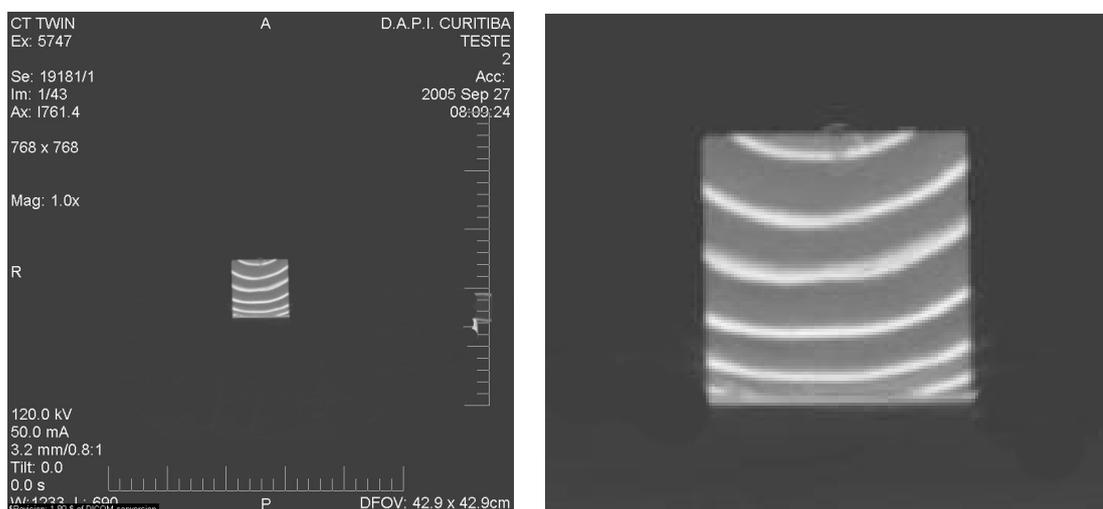
d) Determinação da Densidade na Fase Complementar

Além da determinação da densidade pelo método convencional, foram utilizadas imagens de “tomografia computadorizada”, para avaliar a variação da densidade no plano do produto moldado 1.

Para efeito de ilustração as imagens apresentadas na figura 33, mostram a secção de um corpo de prova de madeira de *pinus spp.*, utilizado para ensaio de compressão (45 x 45 x 150 mm), onde estão destacados os anéis de crescimento. As linhas mais claras, correspondem às regiões mais densas, e as escuras menos densas.

O equipamento utilizado foi um tomógrafo computadorizado, e a leitura feita em software livre. As leituras da densidade podem ser obtidas, através de comparativos, porque o equipamento prevê a densidade do líquido (água) como densidade 1.

FIGURA 33 - IMAGENS TOMOGRÁFICAS DA SEÇÃO DE UM CORPO DE PROVA DE MADEIRA



FONTE: Autor

Da mesma forma, foram realizados os testes no produto moldado 1 (gaveta), para verificar, através das imagens da tomografia, o gradiente de densidade na moldagem e as possibilidades de estimar a resistência do produto moldado.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados dos ensaios da fase principal foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificação dos efeitos significativos a 5% de probabilidade de erro.

Os resultados foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizados para os tratamentos. As médias dos tratamentos foram comparadas, pelo teste Tukey para amostras independentes.

Foram ajustadas equações de regressão linear simples entre ME (x) e as propriedades mecânicas testadas (Y). Para as equações ajustadas foram calculadas as estatísticas; coeficiente de determinação (R^2), razão F, erro padrão da estimativa (S_{xy}), erro padrão da estimativa em % ($S_{xy}\%$) e coeficiente de correlação simples (R).

Foram realizadas combinações fatoriais tendo como variáveis o nível de resina de 10% e 20%, formação do colchão pelo sistema "armado" e "convencional", tempo de prensagem de 6 e 10 minutos e as propriedades mecânicas testadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS

4.1.1 FASE 1 - EXPERIMENTO PRELIMINAR

Os resultados da primeira fase desta pesquisa tiveram caráter exploratório, visando o melhor entendimento das variáveis envolvidas no desenvolvimento de compósitos e processos para utilização de resíduos de madeira. Os resultados dos ensaios de moldagem com vários tipos de materiais e diferentes processos são apresentados a seguir.

Experimentos de moldagem realizados com o molde de cimento e areia:

FIGURA 34 - MOLDE EM CIMENTO E AREIA



FONTE: Autor

a) Moldagem 1

Foi realizada a moldagem do produto utilizando partículas de madeira de *pínus spp.* encoladas por aspersão com adesivo de contato, em quantidade em torno de 10% do peso das partículas em condições ambientais.

A moldagem foi realizada sem controle da densidade e compressão a frio, em função do material utilizado na fabricação do molde (cimento).

A desmoldagem foi feita após meia hora, e, em seguida, foi submetida à secagem. Como resultado deste experimento, obteve-se uma forma razoavelmente próxima do produto desejado, porém sem acabamento superficial satisfatório (figura 35).

FIGURA 35 – MOLDAGEM COM FIBRAS DE PINUS E ADESIVO DE CONTATO



FONTE: Autor

O acabamento apresentou deficiência em função do tamanho das partículas e da baixa compressão, o que também conferiu baixa resistência ao produto piloto obtido. Este processo apresenta possibilidade de aproveitamento em produtos artesanais.

b) Moldagem 2

Repetiu-se neste experimento as mesmas condições empregadas anteriormente, mas com a diferença no tempo de desmoldagem, que foi de 2 horas. O produto obtido na moldagem é apresentado na figura 36 a seguir.

FIGURA 36 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO

FONTE: Autor

Com característica próxima a da moldagem anterior, neste processo de moldagem foi modificada a maneira de aplicação do adesivo.

O produto final apresentou forma não muito definida, sem um acabamento superficial satisfatório em função do tamanho das partículas e da pouca compactação realizada. O potencial de utilização deste processo, em função do baixo custo, pode trazer vantagens na geração de renda para comunidades carentes.

c) Moldagem 3

O resultado deste experimento, foi a moldagem do produto foi à base de resíduos de madeira de araucária, obtidos de operações no torno e serra circular. Foi utilizado adesivo de contato em quantidade em torno de 10% (diluído em mais 20% de água) em relação ao peso das fibras. Na moldagem não houve controle da densidade e da compressão a frio, em função das características do molde, por ser de cimento.

A figura 37 a seguir apresenta o resultado obtido.

FIGURA 37 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO COM RESÍDUOS DE SERRARIA



FONTE: Autor

Por se tratar de um molde de cimento, houve a necessidade da desmoldagem antes da cura total do adesivo, o que provocou avarias na peça. A cura do produto foi completada em temperatura ambiente.

O produto apresentou um melhor acabamento superficial em relação à Moldagem 01 e 02. Contudo, assim como nas moldagens anteriores, apresentou baixa resistência mecânica.

d) Moldagem 4

O resultado deste experimento, foi o produto moldado com resíduos de madeira de araucária obtido de operações no torno e serra circular em mistura com adesivo PVA em quantidade de 25% em relação ao peso das partículas (figura 38). A moldagem foi realizada sem controle da densidade e compressão a frio. A secagem e consolidação do produto foram realizadas após a retirada do molde em temperatura ambiente.

FIGURA 38 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO DE RESÍDUOS DE MADEIRA

FONTE: Autor

Obteve-se um bom acabamento superficial em função da geometria das partículas. A forma do produto revelou as características do molde. Como o adesivo PVA é bastante utilizado no setor mobiliário, e por empregar processo de moldagem simples, este produto moldado pode representar uma grande oportunidade no aproveitamento de resíduos de serraria.

e) Moldagem 5

Neste experimento buscou-se a obtenção de produto moldado com resíduos de madeira de "cambará" provindos de operações no torno e serra circular, com adesivo PVA em quantidade abaixo de 25% em relação ao peso das partículas. Também neste experimento, a desmoldagem foi realizada antes da cura completa. A secagem final foi feita em temperatura ambiente (figura 39).

**FIGURA 39 - MOLDAGEM DE PEÇA A FRIO COM RESÍDUOS DE MADEIRA
"CAMBARA"**



FONTE: Autor

Este experimento apresentou resultados semelhantes aos obtidos na Moldagem 4. Contudo, o produto foi influenciado pela coloração mais escura da madeira utilizada.

Resultado do Molde em Alumínio Fundido

Nesta etapa foi realizado o desenvolvimento do molde em alumínio fundido. Foi utilizado um gabarito em madeira, para posterior fundição em caixa de areia.

Como resultado do molde fabricado, obteve-se a configuração de uma gaveta com 500mm x 400mm, com abas laterais de 30mm, apresentando ângulos de 60° nas paredes laterais, profundidade de 50mm e parte frontal como puxador em curva de 50mm de raio (figura 40). A geometria definida para este produto foi de uma forma mais complexa, com paredes em ângulo mais próximo de 90°, mas que possibilitasse uma boa desmoldagem.

Com este molde, denominado molde 1, foram obtidos os resultados da fase 3 - experimento complementar.

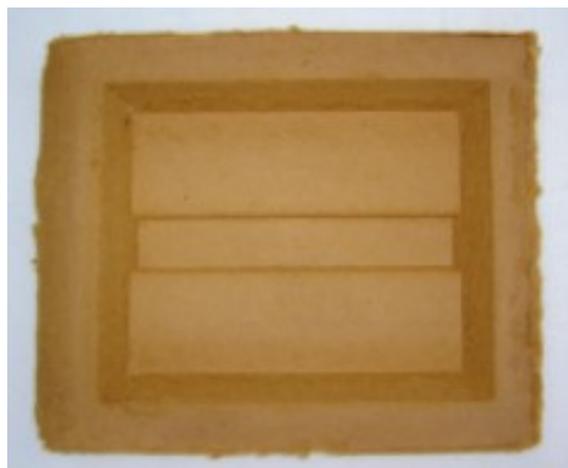
FIGURA 40 - MOLDE DE ALUMÍNIO FUNDIDO



FONTE: Autor

Com o molde apresentado na figura 40, foi realizado um teste com a moldagem do produto utilizando fibras já encoladas de *pínus spp.*, retiradas do processo de fabricação do MDF da empresa Masisa. A moldagem foi executada no Laboratório de Painéis de madeira da Engenharia Florestal da UFPR (figura 41).

FIGURA 41 - MOLDAGEM A QUENTE EM COLCHÃO DE FIBRA ENCOLADA



FONTE: Autor

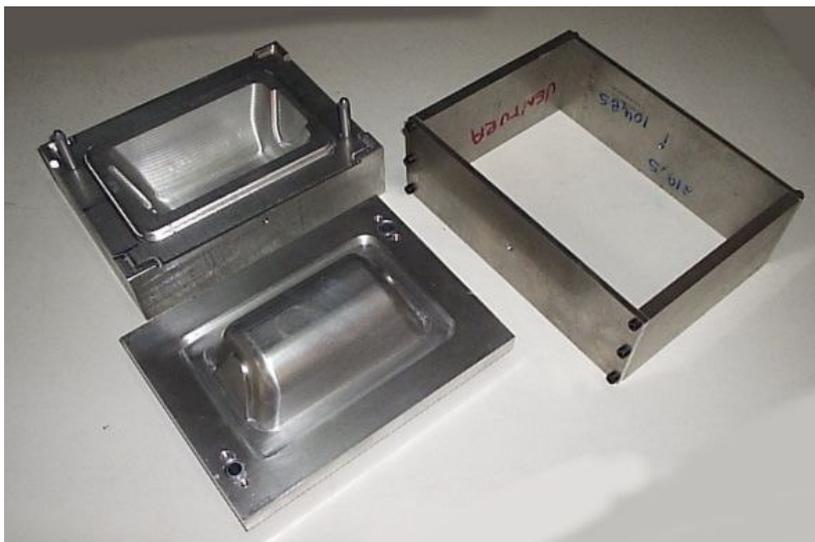
Os seguintes problemas foram verificados nos resultados da moldagem: a) Pré-cura do adesivo antes da compressão em função do tempo transcorrido entre a aplicação do adesivo na indústria e a

prensagem no laboratório. b) Fibras apresentando sinal de excesso de aquecimento. c) Não apresentou resistência mecânica desejável para o requisitado no produto final. Entretanto, o produto apresentou um bom acabamento superficial.

Resultado do Molde em Alumínio Naval Usinado

Nesta etapa foi confeccionado o molde em alumínio "naval" usinado por prototipagem rápida para conformação de uma caixa com dimensões mais precisas e com gabarito para compressão. Para obter um resultado com dimensões mais precisas do produto moldado.

FIGURA 42 - MOLDE EM ALUMÍNIO USINADO POR PROTIPAGEM RÁPIDA



FONTE: Autor

Com este molde, denominado molde 2, foram obtidos os resultados da fase 3 - experimento complementar.

4.1.1.1 DISCUSSÃO DA FASE PRELIMINAR

Considerando os resultados obtidos nesta fase referente aos ensaios exploratórios, constatou-se que, partículas menores reproduzem melhor a forma do molde, conseqüentemente gerando melhor acabamento superficial. E, também, que a resistência das peças ficou prejudicada devido à baixa compressão na prensagem. Definiu-se portanto a escolha do material, como sendo partículas de madeira com maior uniformidade geométrica para a formação do colchão.

Foram desenvolvidos dois moldes de formas geométricas diferentes, fabricados em alumínio fundido (molde 1) e alumínio naval usinado (molde 2) para avaliação do processo de conformação de produtos moldados de madeira.

4.1.2 FASE 2 - EXPERIMENTO PRINCIPAL

4.1.2.1 PROPRIEDADES DAS CHAPAS

Os resultados dos ensaios de flexão estática (MOR e MOE), ligação interna e compressão paralela das chapas estão apresentados nas tabelas 4, 5 e 6. Os valores médios das propriedades referentes aos tratamentos de T13 a T16, não estão apresentados, tendo em vista que não houve a consolidação dos painéis após a prensagem a frio por 3 e 5 horas.

Módulo de Elasticidade e Ruptura em Flexão Estática

Os resultados de MOR e MOE para os tratamentos com o adesivo PVAc, T1 a T4, foram bem inferiores aos obtidos nos tratamentos com melamina-uréia-formol, T5 a T12, conforme mostra a tabela 4.

TABELA 4 - VALORES MÉDIOS DE MOR E MOE EM FLEXÃO ESTÁTICA E MASSA ESPECÍFICA

TRATAMENTO	MOR (kgf/cm ²)		MOE (kgf/cm ²)		Massa Específica (g/cm ³)
	Média	Coef.Var.%	Média	Coef.Var.%	
T1-PVA10-6	15,84	25,38	2.393,0	23,14	0,424
T2-PVA10-5	11,69	18,28	2.271,0	27,12	0,449
T3-PVA20-6	47,83	89,44	9.163,0	60,80	0,536
T4-PVA20-5	26,82	13,25	4.228,0	13,07	0,454
T5-MUF10-6-C	133,83 a	34,29	15.710,0 a	31,03	0,595
T6-MUF10-10-C	152,40 b	20,53	18.030,0 ab	19,05	0,644
T7-MUF20-6-C	161,78 bc	24,89	19.390,0 bc	25,92	0,617
T8-MUF20-10-C	187,40 c	22,10	22.630,0 c	21,36	0,640
T9-MUF10-6-A	154,83 b	30,67	17.380,0 ab	25,76	0,645
T10-MUF10-10-A	178,50 bc	24,08	19.620,0 bc	24,21	0,673
T11-MUF20-6-A	226,10 d	23,46	32.030,0 d	23,02	0,802
T12-MUF20-10-A	234,50 d	19,25	32.300,0 d	18,85	0,807

Legenda: PVA e MUF, resina; 10 e 20 teor de resina (%); 5, 6 e 10, tempo de prensagem; C= convencional e A= armado, sistema formação do colchão.

* Médias referentes aos tratamentos de T5 a T12 seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança.

De acordo com a norma EN 312-3 : 1996, os valores mínimos exigidos para painéis aglomerados com densidade na faixa de 0,60 a 0,80g/cm³ são de 140kgf/cm² para MOR e de 18.000kgf/cm² para MOE.

Os tratamentos de T1 a T4 com PVAc não atingiram os valores mínimos para MOE e MOR exigidos pelas normas EN 312-3 : 1996.

As chapas fabricadas com adesivo melamina-uréia-formol (MUF), correspondentes aos tratamentos T5 a T12, foram as que apresentaram melhores resultados em flexão estática (MOR) e (MOE).

O aumento do teor da resina MUF de 10 para 20% resultou em maiores valores de MOE e MOR.

Quanto à formação do colchão, o sistema "armado", com a estrutura interna de tecido, T9 a T12 apresentaram melhores resultados em relação à formação convencional do colchão (T5 a T8).

Para as chapas produzidas com resina MUF (T5 a T12), o aumento do tempo de prensagem de 6 para 10 minutos, resultou em maiores valores de MOE e MOR.

Com o teste de Tukey foi analisada a diferença entre as médias, onde houve um resultado semelhante para MOR e MOE. O aumento na quantidade de adesivo MUF de 10 para 20%, e o tempo de prensagem de 6 para 10 minutos produziram resultados estatisticamente melhores quando comparados aos outros tratamentos.

O colchão armado em relação ao colchão convencional produziu valores médios melhores estatisticamente em todas as propriedades analisadas.

Nos tratamentos T11 e T12, observou-se um aumento na densidade média para 0,8 g/cm³, com conseqüente aumento em MOE e MOR, possivelmente em função do acréscimo do tecido de sisal. Estes fatores foram considerados na seleção do melhor tratamento para a fase complementar.

Compressão Paralela

Com relação aos ensaios de compressão paralela, os resultados foram bastante semelhantes aos encontrados para ensaios de flexão estática (tabela 5).

TABELA 5 - VALORES MÉDIOS DA COMPRESSÃO PARALELA

TRATAMENTO	COMPRESSÃO PARALELA (kgf/cm ²)			
	Força Máxima (kgf)	Coef.Var.%	MOE (kgf/cm ²)	Coef. de Variação%
T1-PVA10-6	36,22	35,72	548,1	27,23
T2-PVA10-5	44,84	17,59	452,0	23,90
T3-PVA20-6	118,20	79,41	2.752,0	99,58
T4-PVA20-5	74,45	26,67	1.065,0	26,82
T5-MUF10-6-C	122,50 a	33,74	3.462,0 a	38,78
T6-MUF10-10-C	198,50 ab	23,90	5.802,0 ab	24,27
T7-MUF20-6-C	246,90 bc	27,95	7.033,0 bc	28,52
T8-MUF20-10-C	305,60 c	33,76	8.840,0 c	30,95
T9-MUF10-6-A	221,50 bc	34,44	6.547,0 bc	31,62
T10-MUF10-10-A	276,90 bc	25,91	8.691,0 bc	26,97
T11-MUF20-6-A	557,90 d	34,77	15.530,0 d	34,63
T12-MUF20-10-A	658,50 e	20,30	18.920,0 e	15,50

Legenda: PVA e MUF, resina; 10 e 20 teor de resina (%); 5, 6 e 10, tempo de prensagem; C= convencional e A= armado, sistema formação do colchão.

* Médias referentes aos tratamentos de T5 a T12 seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança.

Os resultados da compressão paralela dos painéis produzidos com adesivo PVAc, T1 a T4, também foram inferiores aos obtidos com o adesivo MUF.

Entre os tratamentos T5 a T12, as chapas produzidas com teor de resina MUF de 20% apresentaram melhores resultados em comparação as chapas produzidas com 10% de resina.

A formação do colchão com o sistema "armado" (T9 a T12), resultou em maiores valores de compressão paralela, quando comparados à formação "convencional" do colchão.

Houve um aumento significativo nos valores de compressão paralela com o aumento do tempo de prensagem de 6 para 10 minutos.

Com a análise da diferença entre as médias, observou-se que também para compressão paralela, o aumento na quantidade de adesivo MUF de 10 para 20%, e o tempo de prensagem de 6 para 10 minutos produziram resultados estatisticamente melhores quando comparados aos outros tratamentos.

Ligação Interna

Conforme os resultados apresentados na tabela 6, todos os painéis fabricados com o adesivo MUF (T5 a T12) apresentaram valores médios de ligação interna superiores ao valor mínimo exigido pela norma EN 312-3 : 1996 de 4,0kgf/cm².

TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA

TRATAMENTO	LIGAÇÃO INTERNA		Massa Específica
	kgf/cm ²	Coef.Var.%	g/cm ³
T1-PVA10-6	desprezado	-----	0,420
T2-PVA10-5	0,87	37,23	0,450
T3PVA20-6	7,12	37,94	0,540
T4PVA20-5	1,46	27,02	0,450
T5-MUF10-6-C	4,79 a	22,50	0,590
T6-MUF10-10-C	7,11 b	26,68	0,640
T7-MUF20-6-C	11,34 b	29,46	0,620
T8-MUF20-10-C	12,44 b	40,37	0,640
T9-MUF10-6-A	7,96 b	42,72	0,640
T10-MUF10-10-A	8,56 b	42,92	0,670
T11-MUF20-6-A	13,80 c	27,37	0,800
T12-MUF20-10-A	14,94 c	18,65	0,810

Legenda: PVA e MUF, resina; 10 e 20 teor de resina (%); 5, 6 e 10, tempo de prensagem; C= convencional e A= armado, sistema formação do colchão.

* Médias referentes aos tratamentos de T5 a T12 seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança.

Para os painéis produzidos com o adesivo PVAc, apenas o tratamento T3, apresentou resultado satisfatório em relação à norma EN 312-3 : 1996.

Alguns aspectos importantes foram constatados na fabricação das chapas dos tratamentos T1 a T4, que nos leva a relatar e deduzir sobre o comportamento do adesivo PVAc, um termoplástico, normalmente utilizado para colagem de peças de madeira sólida.

Após a fabricação das chapas, de maneira convencional, elas foram retiradas para resfriamento, onde se observou um nível de expansão, enquanto que uma das chapas do tratamento T3, permaneceu sob prensagem até seu resfriamento e não apresentou o mesmo resultado, ou seja não ocorreu expansão.

Esta experiência resultou em valores médios significativos para ligação interna (LI) em relação à norma, se comparados com os aglomerados convencionais, como se pode observar na tabela 6. Este resultado pode motivar futuras pesquisas.

Para chapas produzidas com o adesivo (MUF), houve um pequeno incremento nos valores médios de ligação interna com o aumento no teor de 10% para 20% de resina.

A formação do colchão com o sistema "armado" (T9 a T12), resultou em maiores valores de ligação interna das chapas, quando comparados à formação "convencional" do colchão.

O aumento do tempo de prensagem de 6 para 10 minutos, resultou em aumento significativo nos valores de ligação interna.

Para a ligação interna a análise da diferença entre as médias, revelou que o tempo de prensagem de 6 minutos para o tratamento T5 apresenta diferença estatística, e para os demais tratamentos não, somente para os tratamentos T11 e T12 que diferiram estatisticamente, provavelmente em função da maior densidade.

Nos tratamentos T11 e T12, observou-se um aumento na densidade média para $0,8 \text{ g/cm}^3$, com conseqüente aumento nos valores de ligação interna. Isto se deu possivelmente em função do acréscimo do tecido de sisal, estes fatores foram considerados na seleção do melhor tratamento para a fase complementar.

4.1.2.2 ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS

A análise das interações entre as variáveis teve como finalidade a predição das propriedades mecânicas com base na densidade, com o uso de equação de regressão linear. O compósito testado nas chapas (fase principal), sendo o mesmo para fabricação dos produtos moldados, possibilitará presumir suas propriedades mecânicas a partir da densidade obtida nos pontos pré-definidos nas moldagens.

As análises estatísticas das interações entre as variáveis foram realizadas para os tratamentos de T5 a T12 que apresentaram os melhores resultados.

Os tratamentos com adesivo (PVAc) de T1 a T4 não foram considerados, por apresentarem baixos valores de propriedades mecânicas.

Equações de Análises de Regressão

Nas tabelas 7, 8 e 9 estão apresentadas as equações de regressão linear, explicando o nível de adequação do modelo linear para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, compressão paralela (CP) e o erro padrão em percentual. Na última coluna das tabelas estão apresentados os coeficientes de correlação das equações testadas.

TABELA 7 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE E MASSA ESPECÍFICA, COM RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS

EQUAÇÃO Linear	Razão F	R ²	Syx	Syx%	Coef.Cor.
TRAT 5 (MOE) = -34747,0 + 77,6751*ME	50,94 **	0,864	1298,6	12,1	0,929
TRAT 6 (MOE) = -27147,2 + 63,3909*ME	55,18 **	0,873	987,0	7,2	0,934
TRAT 7 (MOE) = -38472,9 + 87,1909*ME	183,24 **	0,958	865,6	5,6	0,978
TRAT 8 (MOE) = -48574,2 + 104,965*ME	139,81 **	0,945	982,1	5,3	0,972
TRAT 9 (MOE) = -34469,8 + 72,2094*ME	271,26 **	0,971	558,6	4,6	0,985
TRAT10 (MOE) = -47560,5 + 93,8490*ME	118,01 **	0,936	1010,4	6,5	0,967
TRAT11 (MOE) = -52331,0 + 105,117*ME	556,21 **	0,985	931,2	2,9	0,992
TRAT12 (MOE) = -49357,6 + 101,163*ME	176,14 **	0,956	1346,4	4,2	0,978

R²= Coeficiente de Determinação; Syx = Erro Padrão da Estimativa; Syx%= Erro Padrão da Estimativa em %.

** Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

De acordo com a tabela 7, os coeficientes de correlação entre o módulo de elasticidade (MOE) e massa específica (ME) variaram na faixa de 0,99 (T11) a 0,92 (T5). Estes valores podem ser considerados altamente satisfatórios, possibilitando a predição de MOE a partir da massa específica nos intervalos entre 0,56 e 0,70 g/cm³ em aglomerados moldados.

TABELA 8 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE MÓDULO DE RUPTURA E MASSA ESPECÍFICA, COM RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS

EQUAÇÃO Linear	Razão F	R ²	Syx	Syx%	Coef.Cor.
TRAT 5 (MOR) = -178,409 + 0,383166*ME	123,10 **	0,939	4,1	9,0	0,969
TRAT 6 (MOR) = -171,536 + 0,393806*ME	33,32 **	0,806	7,9	9,6	0,897
TRAT 7 (MOR) = -204,508 + 0,479602*ME	60,60 **	0,883	8,3	9,0	0,939
TRAT 8 (MOR) = -306,666 + 0,662276*ME	62,62 **	0,886	9,3	7,9	0,946
TRAT 9 (MOR) = -299,256 + 0,595852*ME	142,33 **	0,946	6,4	7,5	0,973
TRAT10(MOR) = -329,459 + 0,651053*ME	91,13 **	0,919	8,0	7,4	0,958
TRAT11(MOR) = -373,950 + 0,747751*ME	213,54 **	0,963	10,7	4,7	0,981
TRAT12(MOR) = -351,348 + 0,725815*ME	68,61 **	0,895	15,5	6,6	0,946

R²= Coeficiente de Determinação; Syx = Erro Padrão da Estimativa; Syx%= Erro Padrão da Estimativa em %.

** Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

Conforme a tabela 8, os coeficientes de correlação entre o módulo de ruptura (MOR) e massa específica (ME) variaram na faixa de 0,98 (T11) a 0,89 (T6). Valores estes, que também podem ser considerados satisfatórios, possibilitando a predição de MOR a partir da massa específica nos intervalos entre 0,56 e 0,70 g/cm³ em aglomerados moldados.

TABELA 9 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE COMPRESSÃO PARALELA E MASSA ESPECÍFICA, COM RESPECTIVAS ESTATÍSTIAS

EQUAÇÃO Linear	Razão F	R²	Syx	Syx%	Coef.Cor.
TRAT 5 (CP) = -331,336 + 0,775574*ME	10,05 **	0,556	29,2	23,8	0,746
TRAT 6 (CP) = -34,8766 + 0,361961*ME	0,76 **	0,865	48,1	24,2	0,694
TRAT 7 (CP) = -608,931 + 1,38521*ME	33,81**	0,808	32,0	13,0	0,899
TRAT 8 (CP) = -1279,90 + 2,47621*ME	28,93**	0,783	50,9	16,7	0,885
TRAT 9 (CP) = -857,687 + 1,67423*ME	52,77**	0,868	29,4	13,3	0,931
TRAT10 (CP) = -556,299 + 1,23769*ME	6,60**	0,452	56,3	20,3	0,672
TRAT11 (CP) = -1408,01 + 2,44998*ME	27,07**	0,771	98,4	17,6	0,878
TRAT12 (CP) = -819,840 + 1,83145*ME	14,89**	0,650	83,8	12,7	0,806

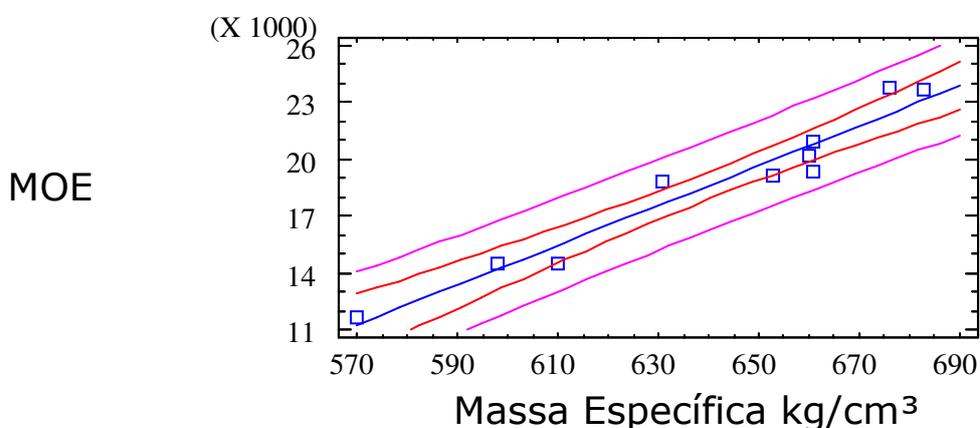
R²= Coeficiente de Determinação; Syx = Erro Padrão da Estimativa; Syx%= Erro Padrão da Estimativa em %.

** Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

De acordo com a tabela 9, os coeficientes de correlação entre a compressão paralela (CP) e massa específica (ME) variaram na faixa de 0,93 (T9) a 0,67 (T10), os tratamentos T7, T8, e T11, apresentaram valores de coeficientes de correlação próximas de 0,90 com possibilidade de predição de CP a partir da massa específica nos intervalos entre 0,56 e 0,70 g/cm³ em aglomerados moldados.

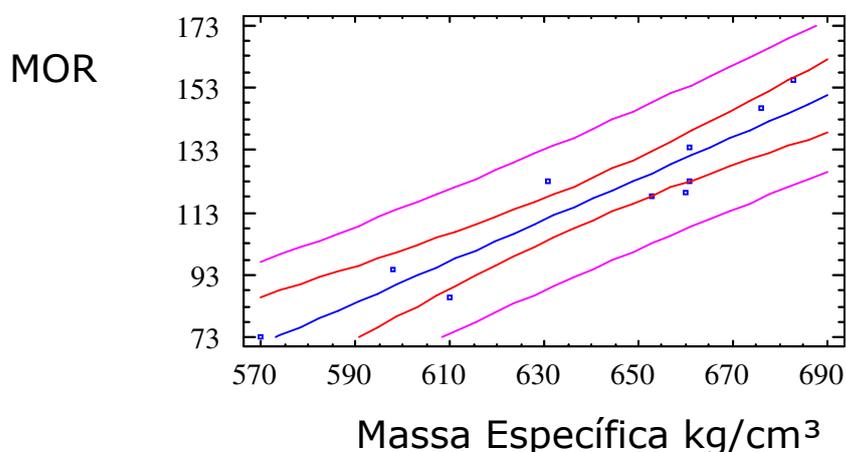
Nos gráficos das figuras 43, 44 e 45 são apresentadas, respectivamente, as análises de regressão linear entre a variável independente, massa específica (ME) e as variáveis dependentes, módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e compressão paralela (CP), referentes ao tratamento T8, por ter sido o selecionado para a moldagem dos produtos na fase complementar.

FIGURA 43 - ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E MÓDULO DE ELASTICIDADE



Com o coeficiente de correlação de 0,972562, para equação de regressão linear de $MOE = -48574,2 + 104,965 \times ME$, a figura 43 mostra os pontos com os valores encontrados nos ensaios, demonstrando haver uma boa correlação da massa específica (ME) com o módulo de elasticidade em flexão estática.

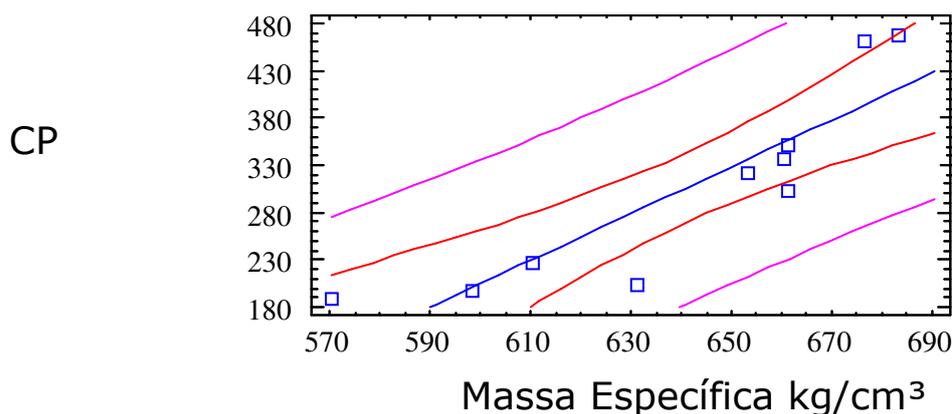
FIGURA 44 - ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E MÓDULO DE RUPTURA



Com coeficiente de correlação de 0,941655 para equação de regressão linear de $MOR = -306,666 + 0,662276 \times ME$, a figura 44 mostra a dispersão dos pontos referentes aos valores dos ensaios, demonstrando

haver uma boa correlação da massa específica (ME) com o módulo de ruptura em flexão estática.

FIGURA 45 - ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E COMPRESSÃO PARALELA



Para a compressão paralela figura 45, o coeficiente de correlação 0,88 obtido para a equação $CP = -1279,9 + 2,47621 \times ME$, foi menor em relação aos valores obtidos para MOE e MOR, porém encontra-se ainda dentro de faixa satisfatória.

Combinações Fatoriais

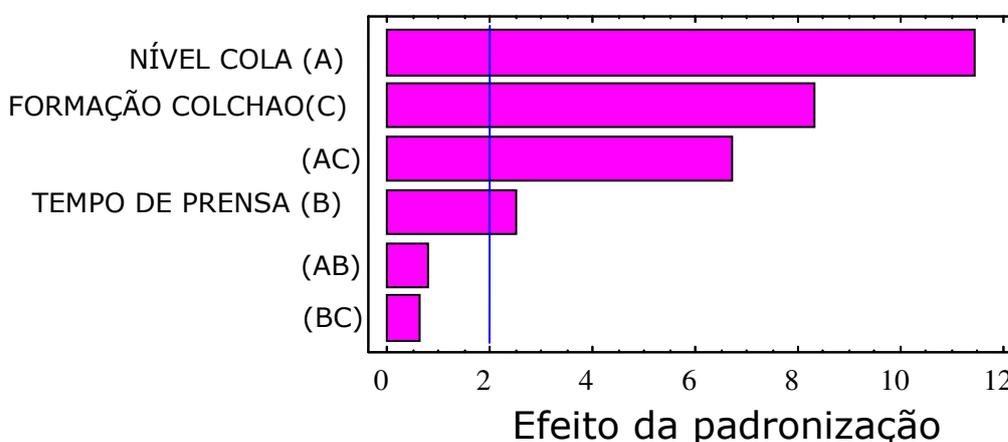
As combinações fatoriais entre as variáveis: nível de cola (A), formação do colchão (B) e tempo de prensagem (C) para as propriedades mecânicas de módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática, compressão paralela e ligação interna, referentes aos tratamentos (T5 a T12) estão apresentadas graficamente de duas formas: gráficos de pareto e de superfícies estimadas.

Através da análise de variância (ANOVA), foram avaliados quanto a significação ou não dos fatores estudados para cada um das propriedades mecânicas.

Os gráficos de pareto mostram através de barras os efeitos da padronização estimados e as interações na ordem de importância das variáveis.

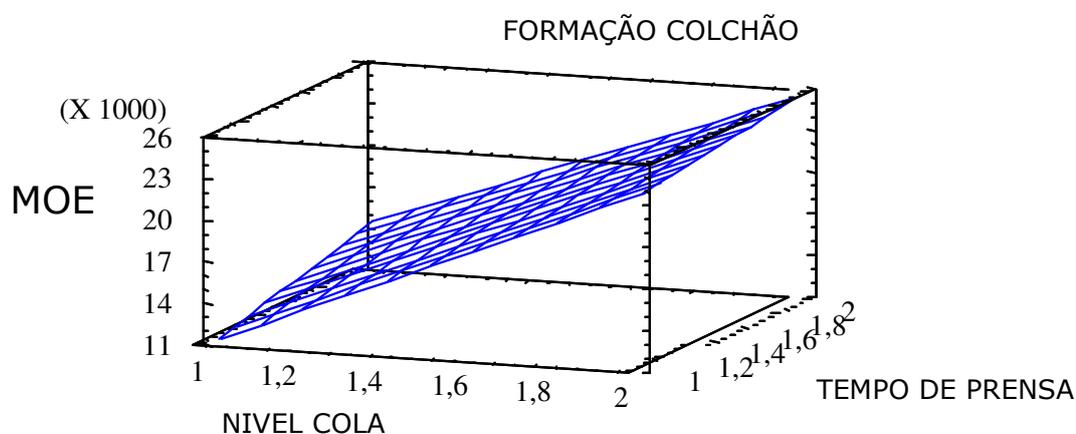
O gráfico da figura 46 mostra para MOE, que pelo menos 4 efeitos (à direita da linha vertical – ponto 2), têm valores menores que 0,05 indicando que eles são significativamente diferentes de zero, considerando os 95% de nível de confiança (anexo II).

FIGURA 46 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOE



Ainda com base na figura 46, observou-se a relação de importância dos fatores em ordem decrescente para nível de cola (A), formação do colchão (C), (AC) e tempo de prensagem (B) para MOE em flexão estática. O coeficiente de correlação de 0,7739 mostra que os efeitos dos fatoriais estudados sobre o MOE podem ser considerados satisfatórios.

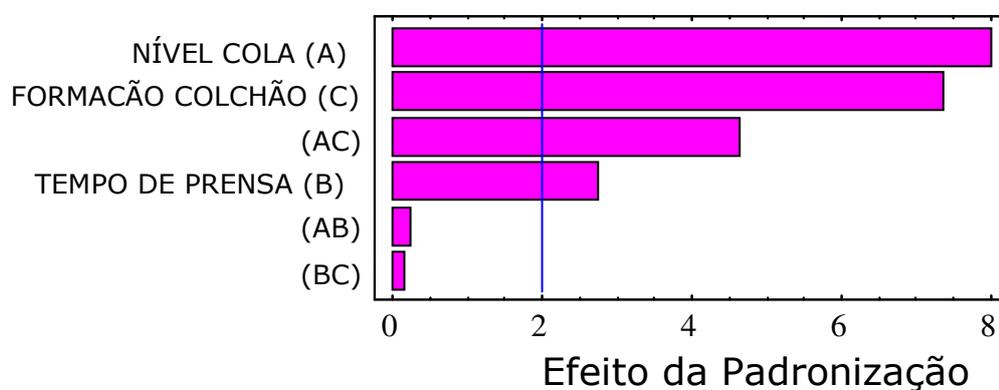
O gráfico das superfícies estimadas da figura 47, apresenta de forma tridimensional o grau de importância das variáveis para MOE em flexão estática, entre os tratamentos T5 e T12.

FIGURA 47 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOE**Legenda:**

Fator	Baixo	Alto	Ótimo
NÍVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	2,0
FORMACAO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

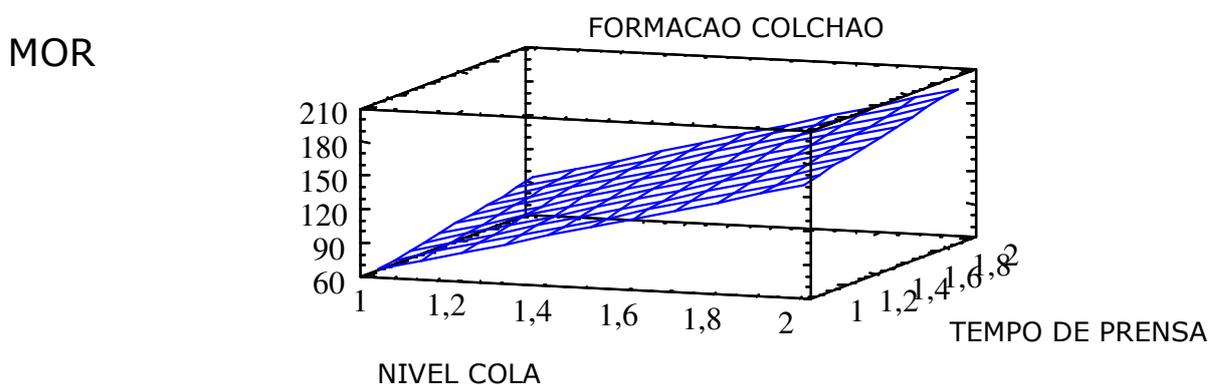
Na legenda da figura 47 estão apresentados os níveis de efeitos das variáveis nível de cola (10 e 20%), tempo de prensagem (6 e 10 minutos) e sistema de formação do colchão (convencional e armado) para o MOE em flexão estática, entre o fator 1,0 (baixo) e 2,0 (alto), respectivamente. A análise fatorial indicou o fator 2,0 (alto), para combinação entre as seguintes variáveis: nível de cola de 20%, tempo de prensagem de 10 minutos e formação do colchão pelo sistema "armado".

O gráfico da figura 48 mostra para MOR, que pelo menos 4 efeitos, têm valores menores que 0,05 indicando que eles são significativamente diferentes de zero, considerando o nível de confiança de 95% (anexo II).

FIGURA 48 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOR

Para o Módulo de Ruptura em flexão estática, as variáveis: nível de cola (A) e formação do colchão (C) apresentam importância equivalente e a combinação de (AC) tem maior importância que o tempo de prensagem (B). O coeficiente de determinação de 0,6663 mostra que os efeitos dos fatores sobre MOR são menores em relação ao MOE.

No gráfico das superfícies estimadas, figura 49, pode-se visualizar de forma tridimensional a importância dos fatores para (MOR).

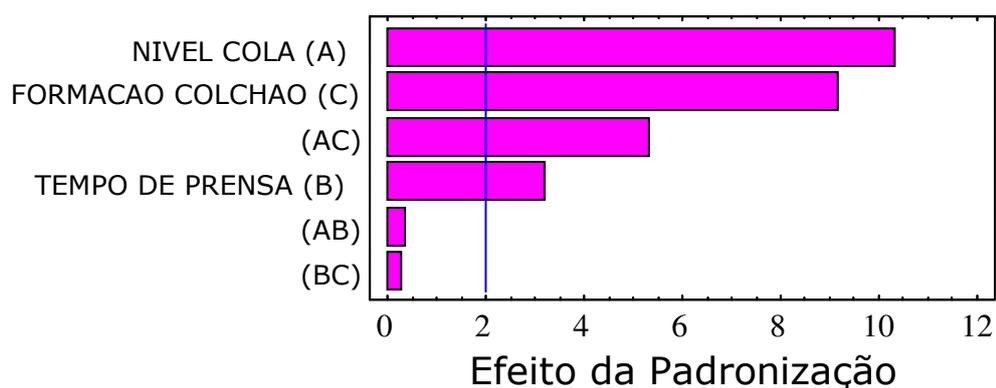
FIGURA 49 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA MOR**Legenda:**

Fator	Baixo	Alto	Ótimo
NÍVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	2,0
FORMAÇÃO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

Na legenda da figura 49 estão apresentados os níveis de efeitos das variáveis nível de cola (10 e 20%), tempo de prensagem (6 e 10 minutos) e sistema de formação do colchão (convencional e armado) para o MOR em flexão estática, entre o fator 1,0 (baixo) e 2,0 (alto), respectivamente. A análise fatorial indicou o fator 2,0 (alto), para combinação entre as seguintes variáveis: nível de cola de 20%, tempo de prensagem de 10 minutos e formação do colchão pelo sistema "armado".

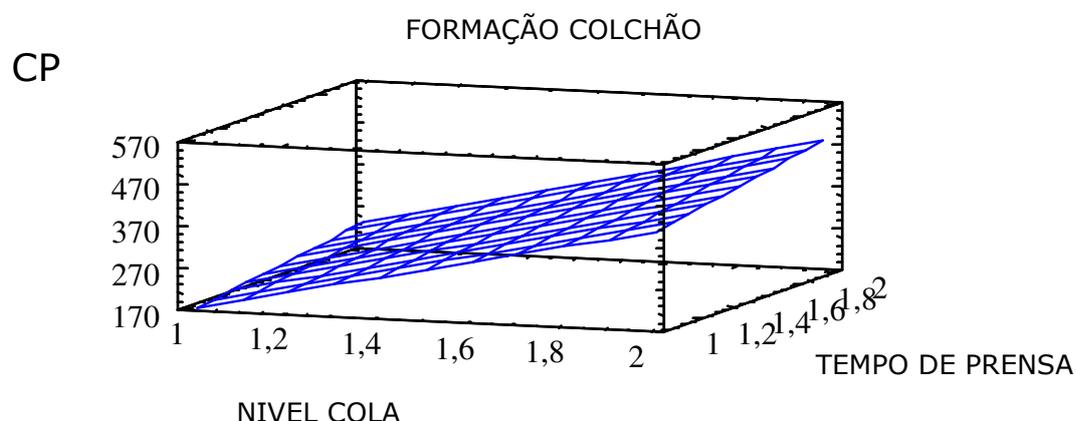
A figura 50, apresenta para compressão paralela, 4 efeitos com valores menores que 0,05 indicando que eles são significativamente diferentes de zero, considerando o nível de confiança de 95% (anexo II).

FIGURA 50 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA CP



Na compressão paralela, as variáveis, nível de cola (A) e formação do colchão (C), individualmente, e de forma associada (AC) superam a importância da variável tempo de prensagem (B). O coeficiente de determinação de 0,7564 mostra que os efeitos dos fatores sobre MOR são menores em relação ao MOE, porém superiores ao MOE.

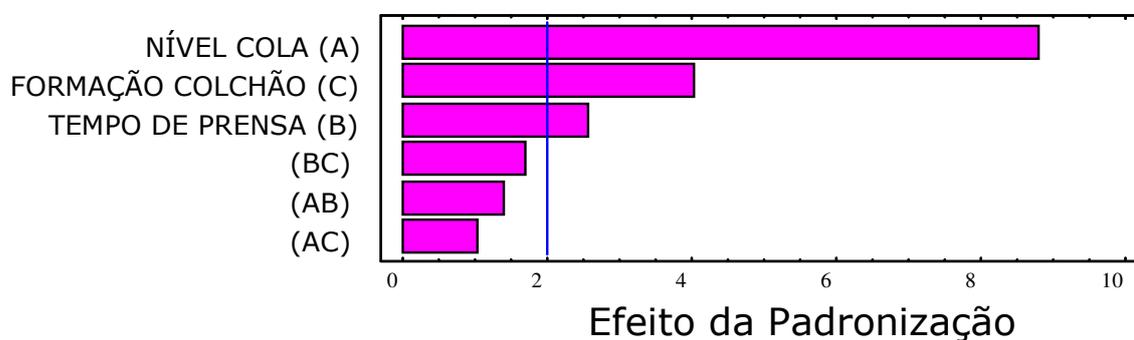
O gráfico das superfícies estimadas, na figura 51, mostra a importância dos fatores para compressão paralela, entre os tratamentos T5 e T12.

FIGURA 51 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA CP**Legenda:**

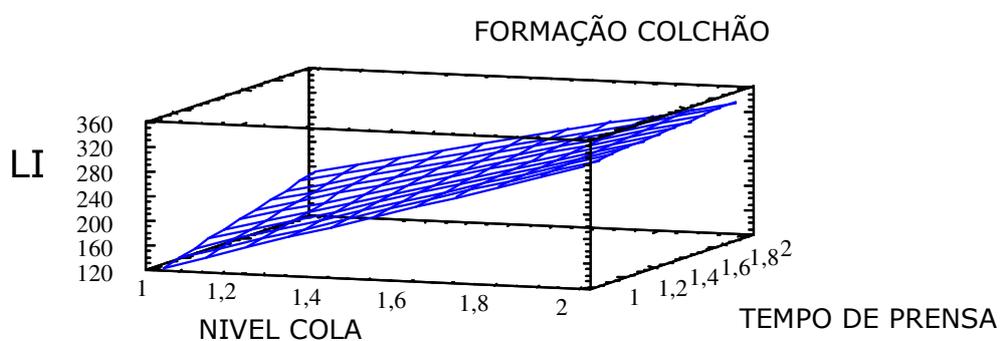
Fator	Baixo	Alto	Ótimo
NIVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	2,0
FORMACAO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

Na legenda da figura 51 estão apresentados os níveis de efeitos das variáveis nível de cola (10 e 20%), tempo de prensagem (6 e 10 minutos) e sistema de formação do colchão (convencional e armado) para o CP, entre o fator 1,0 (baixo) e 2,0 (alto), respectivamente. A análise fatorial também indicou o fator 2,0 (alto), para combinação entre as seguintes variáveis: nível de cola de 20%, tempo de prensagem de 10 minutos e formação do colchão pelo sistema "armado".

A figura 52, apresenta 3 efeitos com valores menores que 0,05 indicando que eles são significativamente diferentes de zero, considerando o nível de confiança de 95% (anexo II).

FIGURA 52 - GRÁFICO DE PARETO DA ANÁLISE FATORIAL PARA LI

Na ligação interna a importância do nível de cola (A) em relação às variáveis formação do colchão (C) e tempo de prensagem (B), pode ser visualizada na figura 52, porém o coeficiente de determinação cai para $R^2 = 0,5897$.

FIGURA 53 - SUPERFÍCIES ESTIMADAS DA ANÁLISE FATORIAL PARA LI**Legenda:**

Fator	Baixo	Alto	Ótimo
NIVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	1,0
FORMACAO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

Na legenda da figura 53 estão apresentados os níveis de efeitos das variáveis nível de cola (10 e 20%), tempo de prensagem (6 e 10 minutos) e sistema de formação do colchão (convencional e armado) para LI, entre o fator 1,0 (baixo) e 2,0 (alto), respectivamente. A análise

fatorial indicou o fator 2,0 (alto), para combinação entre as variáveis: nível de cola de 20% e formação do colchão pelo sistema "armado". E para a variável tempo de prensagem indicou o fator 1,0 (baixo) de 6 minutos. considerando o mais indicado para a produção em função da baixa diferença entre os fatores.

4.1.2.3 DISCUSSÃO DA FASE PRINCIPAL

Os painéis fabricados com o adesivo PVAc apresentaram menores valores das propriedades mecânicas em relação aos painéis fabricados com resina MUF. O aumento na quantidade de adesivo MUF de 10% para 20% resultou em aumento das propriedades mecânicas dos painéis.

Os painéis fabricados com a composição estrutural em tecido de sisal no "sistema armado", contribuíram para aumento nos valores de MOE e MOR em flexão estática e compressão paralela.

Com base na análise comparativa dos resultados das propriedades mecânicas entre os tratamentos, foi selecionado o tratamento T8 (MUF 20%, colchão convencional, tempo de prensagem 10 minutos) para aplicação na fase complementar. Foi excluído do processo de seleção os tratamentos com o sistema "armado" de formação de colchão, devido aos resultados satisfatórios com a formação convencional.

O resultado da análise de regressão linear, mostra que existe uma relação direta entre as propriedades mecânicas e a massa específica, possibilitando a predição da resistência do produto moldado com base na sua massa específica.

Como resultado da avaliação das combinações fatoriais, conclui-se que, para melhorar as propriedades mecânicas de MOE, MOR e CP dos painéis, a variável mais importante foi o nível de cola (A), seguida da variável formação do colchão (C). A associação do nível de cola com a formação do colchão (AC), foi mais importante que a variável tempo de

prensagem (B). Por outro lado, para a propriedade mecânica de ligação interna a variável (B), tempo de prensagem, apresentou-se melhor que a associação (AC).

4.1.3 FASE 3 - EXPERIMENTO COMPLEMENTAR

Com base nos resultados dos experimentos preliminar e principal, foi selecionado o compósito relativo ao tratamento T8, para a moldagem dos produtos propostos para o experimento complementar.

Os resultados das avaliações dos produtos moldados obtidos nos moldes 1 e 2, são apresentados a seguir.

4.1.3.1 PRODUTO MOLDADO 1 (GAVETA)

A moldagem por compressão a quente do produto moldado (gaveta) foi realizado no molde de alumínio fundido com dimensões de 350 x 450 x 50 mm, com espessuras variando de 8 a 16 mm, conforme ilustrado na figura 54.

A peça apresenta a superfície com brilho em função do filme plástico (celofane) ter sido aplicado sobre o colchão antes da compressão. O molde não prevê acabamento na borda da peça, conforme pode ser visualizada na figura 54 (b).

FIGURA 54 - PRODUTO MOLDADO COM MOLDE 1 (GAVETA)

a)



b)



c)

FONTE: Autor

O produto foi projetado com diferentes espessuras na secção transversal conforme ilustrado na figura 55, tendo na borda e fundo com espessuras simples, e partes do fundo e lateral (inclinada) com espessuras duplas.

Como a espessura do produto apresenta variações de acordo com o molde, as densidades foram analisadas em função de suas simetrias. Os valores da densidade estão apresentados na tabela 10, a seguir:

TABELA 10 - GRADIENTE DE DENSIDADE NOS EIXOS HORIZONTAL E VERTICAL DA GAVETA (MOLDE 1).

EIXOS/PONTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Des.Pad.	Coef.Var%
HORIZONTAL	0,54	0,85	0,45	1,08	1,11	1,11	1,08	1,19	0,54	1,04	0,90	0,28	31,48
VERTICAL	1,10	0,68	0,58	1,11	1,11	1,21	0,76	0,58	1,05		0,91	0,25	28,02

Nas partes planas das bordas as densidades foram de 0,85 g/cm³ (ponto nº2) e 1,04 g/cm³ (ponto nº10) no eixo horizontal, e de 1,10 g/cm³ (ponto nº1) e 1,05 g/cm³ (ponto nº9) no eixo vertical.

Nas partes planas do fundo os valores da densidade foram de 1,08, 1,11, 1,11, 1,08 e 1,19 g/cm³, correspondentes aos pontos nº 4, 5, 6, 7 e 8 na horizontal e de 0,58, 1,11, 1,11, 1,21 e 0,76 g/cm³, correspondentes aos pontos nº 3, 4, 5, 6 e 7 na vertical, onde as espessuras são semelhantes.

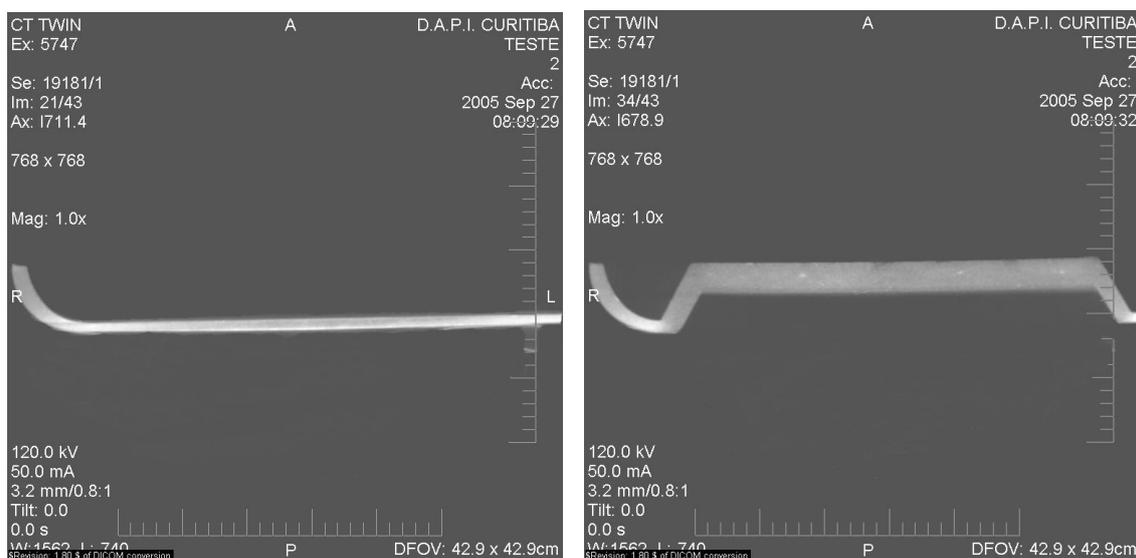
Nas paredes inclinadas estão os pontos mais críticos da moldagem, cujos valores da densidade foram inferiores aos valores obtidos para as partes planas. Na horizontal os valores obtidos foram de 0,45 e 0,54 g/cm³, nos pontos nº 3 e 9 respectivamente, e na vertical foram de 0,68 e 0,58 g/cm³, nos pontos nº 2 e 8. Essas diferenças podem ser atribuídas ao fato da compactação do colchão ser unidirecional, resultando no deslizamento do material na moldagem. Fator este, que não foi constatado para as partes planas do produto, onde as densidades foram superiores.

Na parte curva o valor da densidade foi de 0,54 g/cm³, no ponto nº 1 do eixo horizontal.

A densidade média da gaveta (molde 1) foi de 0,90 g/cm³, com um coeficiente de variação de 29,75%.

A avaliação do gradiente de densidade do produto moldado 1 (gaveta), realizada através de tomografias computadorizadas é apresentada na figura 57. A imagem da esquerda mostra a parte plana da borda com espessura constante e, a da direita, mostra a densidade da lateral da gaveta (parte inclinada), onde a compactação é menor por apresentar uma espessura maior.

FIGURA 57 - IMAGENS DA TOMOGRAFIA DA GAVETA

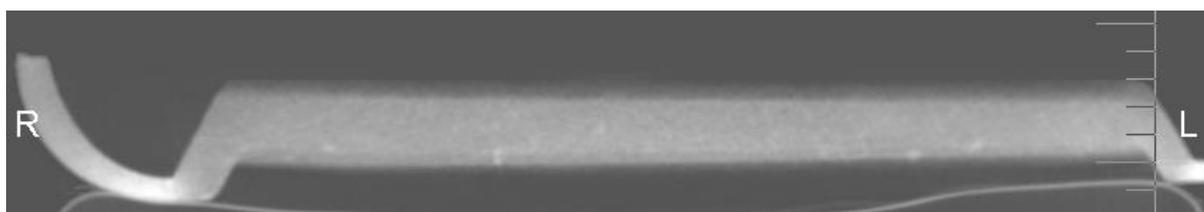


Fonte:Autor

As partes mais claras da figura 57 representam pontos de maior densidade do produto moldado 1.

Na figura 58, pode-se observar no detalhe da imagem os pontos de maior compactação do material.

FIGURA 58 - DETALHE DA IMAGEM

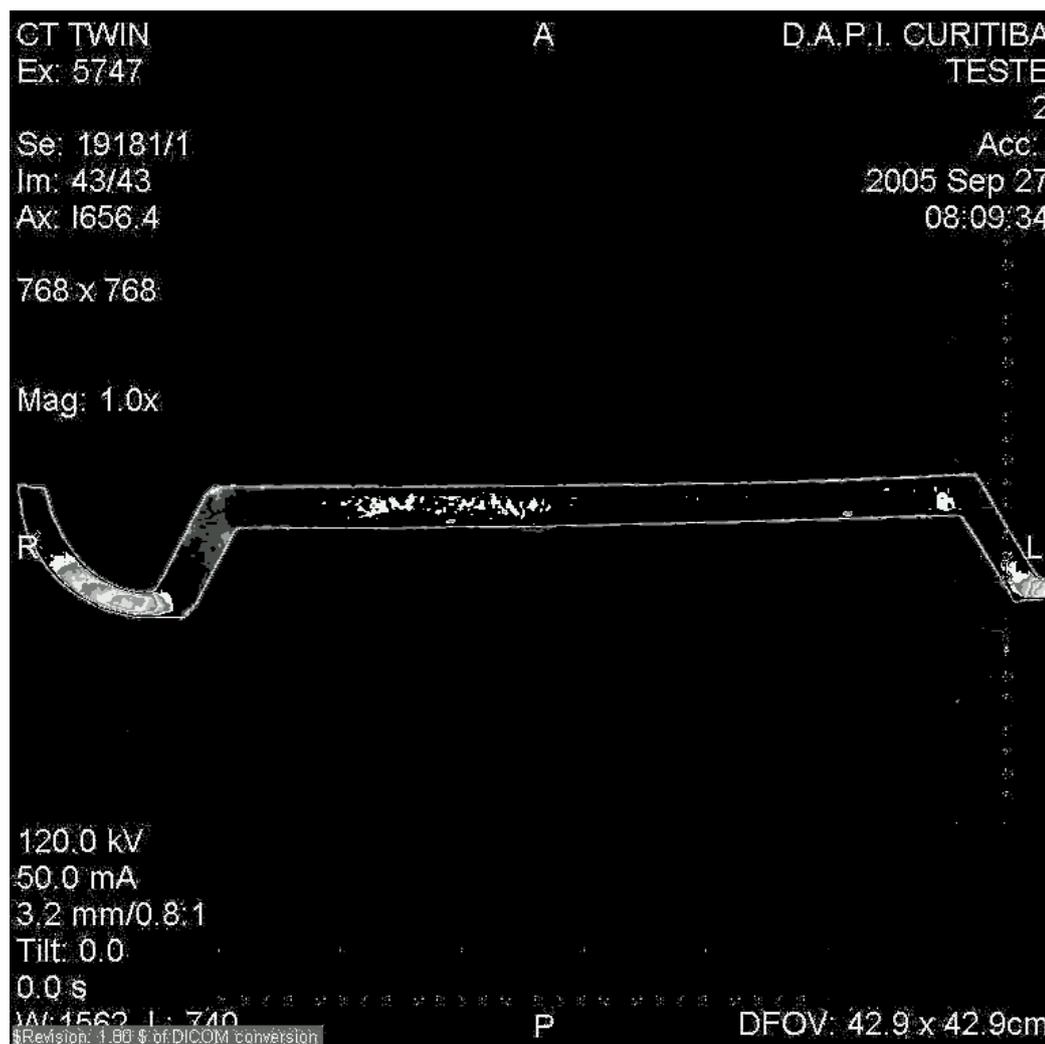


Fonte:Autor

A imagem em altocontraste apresentada na figura 59, mostra a secção horizontal do produto, onde se pode observar a maior densidade

superficial do mesmo, indicada pela área clara. Em casos de acabamentos superficiais como re-trabalhos de usinagem e lixamento, este aspecto deve ser levado em consideração, porque tenderá a afetar a resistência superficial do produto.

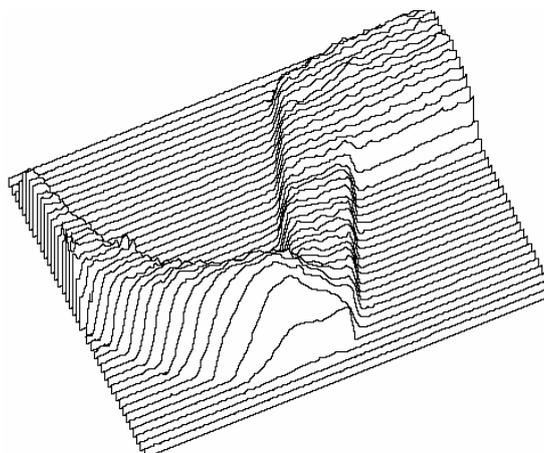
FIGURA 59 – IMAGEM EM ALTOCONTRASTE



FONTE: Autor

Na imagem ampliada da figura 60, pode-se visualizar o gradiente de densidade da parte do puxador da gaveta e da parte inclinada, mostrando os pontos com maior densidade e por conseqüência maior resistência.

FIGURA 60 - PLOTAGEM DO DETALHE DO GRADIENTE DA DENSIDADE (PARTE CURVA)



FONTE: Autor

As imagens de tomografia por computador foram importantes, na medida em que ilustraram visualmente os pontos em que se concentram as regiões com maior densidade, confirmando os resultados obtidos nos ensaios do produto moldado. Entretanto, o método não foi utilizado para determinar valores numéricos, nesse caso deveria ser utilizado o aparelho densitômetro para aferir a massa específica nominal do produto moldado.

4.1.3.2 PRODUTO MOLDADO 2 (CAIXA)

O produto moldado 2 em forma de caixa foi obtido por compressão a quente, através do molde de alumínio usinado por prototipagem rápida, com dimensões de 102 x 152 x 45 mm, e com espessuras variando de 3 a 4 mm. A peça apresenta a superfície lisa na parte interna e texturizada na externa.

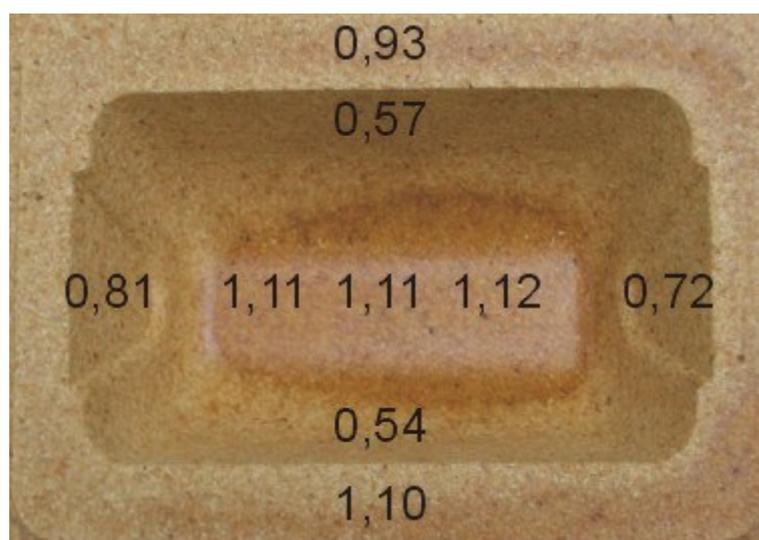
O molde prevê acabamento na borda do produto, gerando uma geometria definida na borda, conforme ilustrado na figura 61.

O produto moldado copiou com fidelidade as características geométricas do molde. O acabamento superficial foi o esperado em função da geometria das partículas utilizadas, podendo-se observar a superfície lisa na parte interna do produto e texturizada na externa.

FIGURA 61 - PRODUTO MOLDADO COM MOLDE 2 (CAIXA)

FONTE: Autor

Na figura 62, estão apresentados os valores de densidades nos eixos horizontal e vertical em diferentes pontos do produto moldado.

FIGURA 62 – DISTRIBUIÇÃO DAS DENSIDADES DA CAIXA (g/cm³)

Nota: Eixo vertical nº 1 a 5 (sentido de cima para baixo)
Eixo longitudinal nº 1 a 5 (da esquerda para direita)
FONTE: Autor

Os valores das densidades do produto moldado 2 (caixa), apresentados na tabela 11, permitem verificar os efeitos do molde na compressão do colchão.

TABELA 11 - GRADIENTE DE DENSIDADE NOS EIXOS HORIZONTAL E VERTICAL DA CAIXA (MOLDE 2)

EIXO / PONTOS	1	2	3	4	5	Média	Desv. Pad.	Coef. Var. %
HORIZONTAL	0,81	1,11	1,11	1,12	0,72	0,97	0,19	19,86
VERTICAL	0,93	0,57	1,11	0,54	1,10	0,85	0,28	32,40

As densidades foram analisadas em função dos planos simétricos.

As densidades das partes planas (bordas) foram de 0,93 e 1,10 g/cm³ nos pontos nº 1 e 5 na vertical, respectivamente, e da parte do fundo de 1,11 g/cm³, no ponto nº 3 da vertical. Nas partes laterais inclinadas foram de 0,57 e 0,54 g/cm³, nos pontos nº 2 e 4.

Na horizontal os valores das densidades foram de 0,81 e 0,72 g/cm³, nos pontos nº 1 e 5 das partes laterais inclinadas, e no fundo foram de 1,11, 1,11 e 1,12 g/cm³ nos pontos nº 2, 3 e 4, respectivamente.

Nas partes laterais inclinadas encontram-se os pontos mais críticos da moldagem, onde os valores da densidade são inferiores.

A densidade média do produto moldado 2 (caixa) foi de 0,91 g/cm³, com um coeficiente de variação de 26,18%.

Nas partes planas, as densidades foram superiores em relação às partes inclinadas. Essa diferença pode ser atribuída ao fato da compactação do colchão ser unidirecional, resultando no deslizamento do material na parte inclinada durante o processo de moldagem.

No produto moldado 2 (caixa) não foi executado o teste da tomografia por apresentar uma espessura considerada muito fina para a obtenção de qualquer resultado comparativo.

4.1.3.3 SIMULAÇÃO DA PREDIÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Com base nas equações apresentadas nas tabelas 7, 8 e 9, foram realizadas simulações para predição dos valores das propriedades mecânicas de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática e compressão paralela (CP) com base nos valores da densidade obtidos nos produtos moldados 1 e 2.

Produto Moldado 1 (GAVETA)

As simulações para o produto moldado 1, foram realizadas para os valores mais altos e mais baixos, em função de suas simetrias, conforme apresentados na figura 56.

Os resultados das predições estão apresentados na tabela 12, para as partes planas (bordas), fundo (espessura fina), fundo (espessura grossa), paredes inclinadas e parte curva. Dentro do intervalo para o uso das equações de $0,56\text{g/cm}^3$ a $0,70\text{g/cm}^3$.

TABELA 12 - SIMULAÇÕES DAS PREDIÇÕES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS MOLDE 1

EQUAÇÃO	(- 48574,2 + 104,965 X Massa Específica) =			Modulo de Elasticidade
BORDAS	-48574,20	104,965	1,10	-----
	-48574,20	104,965	0,85	-----
FUNDO Esp.Fina	-48574,20	104,965	1,21	-----
	-48574,20	104,965	1,08	-----
FUNDO Esp.Grossa	-48574,20	104,965	0,76	31.199
	-48574,20	104,965	0,58	12.306
PAREDES Inclinadas	-48574,20	104,965	0,68	22.802
	-48574,20	104,965	0,45	-----
CURVA	-48574,20	104,965	0,54	-----

EQUAÇÃO	(- 306,666 + 0,66228 X Massa Específica) =			Modulo de Ruptura
BORDAS	-306,666	0,66228	1,10	-----
	-306,666	0,66228	0,85	-----
FUNDO Esp.Fina	-306,666	0,66228	1,21	-----
	-306,666	0,66228	1,08	-----
FUNDO Esp.Grossa	-306,666	0,66228	0,76	196,66
	-306,666	0,66228	0,58	77,45
PAREDES Inclinadas	-306,666	0,66228	0,68	143,68
	-306,666	0,66228	0,45	-----
CURVA	-306,666	0,66228	0,54	-----

EQUAÇÃO	(- 1279,90 + 2,47621 X Massa Específica) =			Compressão Paralela
BORDAS	-1279,90	2,47621	1,10	-----
	-1279,90	2,47621	0,85	-----
FUNDO Esp.Fina	-1279,90	2,47621	1,21	-----
	-1279,90	2,47621	1,08	-----
FUNDO Esp.Grossa	-1279,90	2,47621	0,76	602,02
	-1279,90	2,47621	0,58	156,30
PAREDES Inclinadas	-1279,90	2,47621	0,68	403,92
	-1279,90	2,47621	0,45	-----
CURVA	-1279,90	2,47621	0,54	-----

Produto Moldado 2 (CAIXA)

Da mesma forma, as simulações para o produto moldado 2, foram realizadas com os valores das densidades, mais altas e mais baixas, em função de suas simetrias, conforme apresentados na figura 62. Os resultados das predições estão apresentados na tabela 13, para as partes planas (bordas), fundo, paredes inclinadas (espessura fina), paredes

inclinadas (espessura grossa). Dentro do intervalo para o uso das equações de $0,56\text{g/cm}^3$ a $0,70\text{g/cm}^3$.

TABELA 13 – SIMULAÇÕES DAS PREDIÇÕES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS MOLDE 2

EQUAÇÃO	(- 48574,2 + 104,965 X Massa Específica) =			Modulo de Elasticidade
BORDAS	-48574,20	104,965	1,10	-----
	-48574,20	104,965	0,93	-----
FUNDO	-48574,20	104,965	1,12	-----
	-48574,20	104,965	1,11	-----
PAREDES Esp.Fina	-48574,20	104,965	0,57	11.256
	-48574,20	104,965	0,54	-----
PAREDES Esp.Grossa	-48574,20	104,965	0,81	-----
	-48574,20	104,965	0,72	27.001

EQUAÇÃO	(- 306,666 + 0,66228 X Massa Específica) =			Modulo de Ruptura
BORDAS	-306,666	0,66228	1,10	-----
	-306,666	0,66228	0,93	-----
FUNDO	-306,666	0,66228	1,12	-----
	-306,666	0,66228	1,11	-----
PAREDES Esp.Fina	-306,666	0,66228	0,57	70,83
	-306,666	0,66228	0,54	-----
PAREDES Esp.Grossa	-306,666	0,66228	0,81	-----
	-306,666	0,66228	0,72	170,17

EQUAÇÃO	(- 1279,90 + 2,47621 X Massa Específica) =			Compressão Paralela
BORDAS	-1279,90	2,47621	1,10	-----
	-1279,90	2,47621	0,93	-----
FUNDO	-1279,90	2,47621	1,12	-----
	-1279,90	2,47621	1,11	-----
PAREDES Esp.Fina	-1279,90	2,47621	0,57	131,54
	-1279,90	2,47621	0,54	-----
PAREDES Esp.Grossa	-1279,90	2,47621	0,81	-----
	-1279,90	2,47621	0,72	502,97

Os valores obtidos nas simulações da predição das propriedades mecânicas para módulo de elasticidade e módulo de ruptura para a massa específica na faixa acima de $0,64\text{g/cm}^3$ foram satisfatórios quando comparados com os valores mínimos exigidos pela norma EN 312-3 - 1996 para painéis aglomerados.

4.1.3.4 DISCUSSÃO DA FASE COMPLEMENTAR

Os produtos moldados confeccionados neste estudo apresentaram aparências superficiais satisfatórias, copiando todos os detalhes dos moldes. Os resultados obtidos nas predições das propriedades mecânicas, mostraram ser compatíveis com os valores encontrados nas normas EN 312-3 - 1996 para painéis aglomerados. O ensaio do produto moldado 1 (gaveta) através de tomografia computadorizada, revelou que nas partes planas (bordas), as densidades são superiores às das partes inclinadas.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

- O uso de partículas com maiores granulometrias resultou em problemas de conformabilidade do produto moldado, com aparência de superfície áspera e irregular com o molde de cimento e areia.
- Os painéis fabricados com PVAc apresentaram baixos valores de propriedades mecânicas, devido a expansão após a prensagem.
- Os painéis fabricados com resina (MUF) apresentaram valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), compressão paralela (CP) e ligação interna (LI) superiores aos fabricados com PVAc e UF.
- O aumento do teor de adesivo (MUF) de 10% para 20% resultou em elevação nos valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOE) e ligação interna (LI).
- O aumento no tempo de prensagem de 6 minutos para 10 minutos nos tratamentos com o adesivo (MUF) resultou em valores médios superiores de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), compressão paralela (CP) e ligação interna (LI), devido a completa a cura do adesivo.
- Os valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e compressão paralela (CP) nos tratamentos com formação do colchão pelo "sistema armado", foram superiores aos valores obtidos para os painéis com formação do colchão pelo

“sistema convencional”, devido à inclusão do tecido de sisal no painel.

- A combinação fatorial indicou que nível de cola (20%) e formação do colchão (sistema armado) como as variáveis mais significativas para as propriedades mecânicas dos painéis.
- Os produtos moldados 1 e 2 reproduziram de forma satisfatória as características dos moldes, e apresentaram acabamento de superfície compatível com as características e tamanho das partículas do tipo “farinha de madeira”, com densidade média de $0,90 \text{ g/cm}^3$ (gaveta) e de $0,91 \text{ g/cm}^3$ (caixa) e as densidades foram diferentes nas partes correspondentes ao fundo, bordas e laterais inclinadas.
- O molde deve ser fabricado para permitir a liberação de vapor durante a prensagem a quente, através das laterais e perfurações em pontos pré-estabelecidos.
- As imagens da tomografia computadorizada mostraram regiões com maior densificação nas partes planas, e de menor densificação nas partes inclinadas e curvas, enquanto que nas camadas externas a densificação foi maior do que na camada interna.
- As propriedades mecânicas dos produtos moldados podem ser presumidas através das equações lineares definidas pela análise de regressão nos intervalos previstos, com base na densidade.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Diante das conclusões obtidas neste estudo, as seguintes recomendações podem ser apresentadas.

- O nível de adesivo deve ser definido em função da qualidade exigida no produto final, por ser uma variável mais significativa quanto a resistência e custos.
- Para futuros trabalhos sobre produtos moldados, seria importante a utilização de termopares para medição da temperatura no centro do colchão visando otimização do tempo de prensagem e cura da resina.
- Recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados com adesivo PVAc para fabricação de produtos moldados de partículas de madeira, nas condições de prensagem a quente e a frio.
- Visando um melhor acabamento superficial, é importante que se estimule estudos com fibras de madeira para fabricação de produtos moldados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - UFPR, Curitiba, 2002.

ALVES, Marcus Vinicius da Silva. Novas tecnologias para utilização e aproveitamento de resíduos. In: **1º Congresso Brasileiro de Industrialização da Madeira e Produtos de Base Florestal**-, Curitiba. IBAMA, p. 10 – 30. CD-ROM. 2003.

AMERICAN NATIONAL STANDARD - ANSI. **Mat-formed wood particleboard**: specification ANSI A 208.1.1993. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9 p

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standart methods of evaluation the properties of woo-base fiber and particle panel materials**. In: Annual Book Standards, ASTM D 3501-76. Philadelphia. (Reapproved, 1986).

Architonic. <http://www.architonic.com>. acesso em 13/11/2004.

Artek. <http://www.artek.fi/em>. acesso em 04/12/2004.

BENADUCE, C. **Fabricação de Painéis de Média Densidade(MDF) a partir de fibras de *Eucalyptus grandis*.W. Hill Maiden e *Pinus caribea Morelet var. Hondurensis* Barret e Golfari**. Piracicaba.USP, Dissertação. 1998.

Biocomposites Research Group: [http://www.biocom.iastate.edu/Center for Crops Utilization Research](http://www.biocom.iastate.edu/Center%20for%20Crops%20Utilization%20Research): [20.5.2003]
<http://www.ag.iastate.edu/centers/ccur/2002>

BioCycle Staff. **Wood Recycling: How to Process Materials for Profitable Markets**. Pennsylvania: The J.G. Press, Inc. 2000.

BRITO, E. O. **A Viabilidade de utilização de espécie de *Pinus* para a produção de chapas de composição estrutural "waferboards"**. Curitiba, 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciência Agrárias, UFPR. 1984.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de particulas de madeira a partir de maravalhas de *pinus elliotti engelm. Var. Elliotti* plantado no sul do brasil**. 1995. 123 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - UFPR, curitiba, 1995.

Bruno mathsson. <http://www.scandinaviandesign.com/bruno-mathsson-int/index.htm>. acesso em 03/12/2004.

Carl hansen. <http://www.carlhansen.com/uk/default.html>. acesso em 09/10/2004.

CARVALHO, L. H. "**Chemical Modification of Fibers for Plastics Reinforcement in Composites**", in Lignocellulosic-Plastics Composites, A. L. Leao, F. X. Carvalho, and E. Frollini (eds.), USP and UNESP, Brazil, 1997.

DARDENE, D.S. **Woodtruder System for Extrusion of Wood Fiber Polimer Composites.** Dave Murdoch. Davis Standart Corporation, 2003.

Designbrasil.[http://www.designbrasil.org.br/portal/almanaque/enciclopedia.jhtml/ indice=c.kando.fukushima](http://www.designbrasil.org.br/portal/almanaque/enciclopedia.jhtml/indice=c.kando.fukushima). acesso em 03/10/2004.

ELEOTÉRIO, J.R. **Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** Piracicaba: USP, Dissertação, 2000

EN 312-3 **Particleboards-Specifications-Part 3:** requirements for boards for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions. European Standardization Committee, Brussels. 1996.

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

FIELL, Charlotte & Peter. **Design do Século XX.** Köln: Taschen, 2000.

FIELL, Charlotte; FIEL, Peter. **Design Industrial A-Z.** Taschen, 2001.

FPL. **Wood handbook: wood as an engeneering material.** Madison:[s.n.], 1974.

FROLLINI, E., ed. **Natural polymers and agrofibers based composites: proprieties and aplications** / Editores: Elisabete Frollini, Alcides L.Leão and Luiz Henrique Capparelli Mattoso – São Carlos: USP-IQSC / Embrapa Instrumentação Agropecuária / Botucatu: UNESP, 2000.

FUAD LUKE, Alastair. **Manual de diseño ecológico.** Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

GARDNER, D. J. **Compression Molding Wood-Polymer Hybrid Composites.** 2002.

Garsnas.<http://www.garsnas.se/html/products.php/action=viewproduct&i d=27>. acesso em 09/10/2004.

GLENN, J. **Processing woody materials for higher value markets.** BioCycle.38: 30-33. 1997.

GUEDES, B. FILKANSKAS, M. **O Plástico**, Livros Érica Ltda. São Paulo, 1986.

HAYWARD, Charles H. **Practica del Chapeado de la Madera.** Ediciones Ceac, 1978.

Hermann miller. <http://www.hermanmiller.com>. acesso em 13/11/2004.
<http://www.recycledorganics.com/processing/composting/science/science.htm>.Indonesia. [28.5.2004]

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de pinus.** Curitiba, 1989. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, UFPR.

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

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira.** Apostila. Curitiba: FUPEF, 1998.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard.** USDA General technical Report. FPL-10, 1977.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer-Verlag, 1975. v.2: Wood based materials.

LABOSKY Jr. P.; YOBY, R.D.; JANOWIAK, J.J. *et al.* **Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of UF-bonded red maple MDF.** Forest Products Journal, v. 43, n 11/12, p.82-88 Nov/Dec. 1993.

Lammhults.http://www.lammhults.se/products/imprint_shell_chair/1.php acesso em 03/12/2004.

LEFETERI, C. Wood - **Materials for Inspirational Design.** Rotovision, 2003.

LIU Shih-Jung. **Article Modeling and simulation of the vacuum forming of wood fiber-filled thermoplastic composites.** Department of Mechanical Engineering, Chang Gung College of Medicine and Technology, Tao-Yuan 333, Taiwan, R.O.C.1997.

MALONEY, A.A. **Particleboard.** Illinois: University Press, 1974. V.2, 245p.

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

MALONEY, T.M. **The family of wood composite materials**. Forest Products Journal, v. 46, n. 2, .1996.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MARRA, G. **Overview of wood as a material**. J. Educational Modules for Materials Science and Engineering. 1(4):699-710, 1979.

MATTOSO, L. H. C. F. C. Ferreira, and A. A. S. Curvelo, " **Sisal Fiber: Morphology and Applications in Polymer Composites** " in **Lignocellulosic-Plastics Composites**, A. L. Leao, F. X. Carvalho, and E. Frollini (eds.), USP and UNESP, Brazil, 1997.

MCKEEVER, D.B, **How woody residuals are recycled in the United States**. BioCycle 1999. 40: 33-42, 1999.

MENDES, L. M. **Pinus spp. Na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - UFPR, Curitiba, 2001.

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

Móveis artísticos z. <http://www.mcb.sp.gov.br/eventos/curso-histor-movel/moveisartisticos.htm>. acesso em 01/10/2004.

MYERS, G.C. **Relationship of fiber preparation and characteristics to performance of medium-density hardboard**. Forest Products Journal, (33):p.43-51,1983.

NELSON, N. D. **Effects of wood and pulp properties on médium-desnity, dry-formed harboard**. Forest Products Journal, v 23, n. 9 p. 72-80 Sep. 1973.

OLLI, P. **The chemical modification of Wood**. Teknillinen Korkeakoulu, Puu-28.178 Puutekniikan seminaari, 2003.

PARK, B-D; RIEDL, B.; KIM, Y.S. **Anatomical characteristics of wood fibers for medium-density fiberboard (MDF) manufacture**. Abstracts 4th Pacific Regional Wood Anatomy Conference 1998, In: IAWA Journal, (19):472, 1998

PENTEADO, T. S. e SANTOS, L.G. **Linha de móveis em eucalipto laminado curvado**. Trabalho de Graduação apresentado ao curso de

Design de Produto. Curitiba: UFPR, 2003

PLATT, J.. **Case Study in American methodological thought.** Cambridge: Current Sociology, 1992.

Quase 100 anos de história. a evolução do móvel moderno criado no brasil. http://www2.uol.com.br/vverbem/criadores/103_linha_tempo.

Recycled Organics Unit **Information Sheet No. 5-2**, Composting Science for Industry: Composting Systems . Internet publication: 2000.

ROWELL, R. M. **Advances in the chemistry series: The chemistry of solid wood.** Washington D.C: 1984. American chemical society. 614p. 1984.

ROWELL, R. M. B. A. Cleary, J. S. Rowell, C. Clemons, and R. A. Younf, "**Results of Chemical Modification of Lignocellulosic Fiber for Use in Composites**", in **Wood Fiber/Polymer Composites: Fundamental Concepts, Process, and Material Options**, Forest Product Society, Madison, 1993.

ROWELL, R., A. R. Sanadi, D. F. Caulfield, and R. E. Jacobson, "**Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities**", in **Lignocellulosic- Plastics Composites**, A. L. Leão, F. X. Carvalho, and E. Frollini (eds.), USP and UNESP, Brazil, 1997.

ROWELL, R.M. **The state of art and future development of bio-based composite science and technology towards the 21st century.** Proceedings: The fourth Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium, Y.S. Hadi, ed., Bogor, Indonesia. 1998.

RYNK, R., van de Kamp, M., Willson, G.B., Singley, M.E., Richard, T.L., Kolega, J.J., Gouin, F.R., Laliberty Jr., L., Kay, D., Murphy, D.W., and Hoitink, H.A.J. **On-Farm Composting Handbook.** Ithaca, New York, USA.: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service. 1992.

SAMPAIO C.P. **Desenvolvimento de Soluções de Design para Produtos Industriais através da conformação 3D a partir da Fibra de Madeira de Reflorestamento**, Trabalho de Iniciação Científica. UFPR.2005.

SANADI, A.R., D.F. Caulfield, and R.M. Rowell. **Reinforcing polypropylene with natural fibers.** Plastic Engineering, V.4, 27-28. (1994).

SAVASTANO JR., H. e PIMENTEL, L. L. **Viabilidade do aproveitamento de resíduos e fibras vegetais para fins de material de construção.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.103-

110. Campina Grande: DEAg/UFPB, 2000.

SOUZA, Maria Helena. **Incentivo ao Uso de Novas Madeiras Para a Fabricação de Móveis**. Edições Ibama, 1998.

SPAVEN, G.P. et al. On-line / off-line fiber analysis – it pays. In: **International Particleboard / Composite Materials Symposium, Twenty-Seventh**, Pullman, Washington, 1993. Proceeding. Washington: Washington State University, 1993.

Studio d´arte palma. <http://www.mcb.sp.gov.br/eventos/curso-histor-movel/studioarte.htm>. acesso: 02/10/2004.

Unilabor. <http://www.mcb.sp.gov.br/eventos/curso-histor-movel/unilabor.htm>. acesso em 01/10/2004.

VALZANO, F. A Literature **Review on the Composting of Composite Wood Products**, Recycled Organics Unit. December 2000

VICK, C. B. **Adhesive Bonding of Wood Materials**. Forest Products Laboratory. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. 1999.

WILLIAMS, T., and ENGEL, P. **Mobile processing systems fit wood residuals**. BioCycle. 38: 34-38. 1997.

YAMAJI, F. M. "**Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira**". 2004. 150 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - UFPR, Curitiba, 2004.

YIN, Roberto. **Estudos de Caso: Planejamento e Métodos**. 2. ed. São Paulo: Ed. Bookman, 205 p. 2001.

YOUNGQUIST, J. A. et al. **Mechanical and physical properties of air-formed wood-fiber/polymer-fiber composites**. Forest Products Journal, v. 42, n. 6, p. 42-48, 1992.

YOUNGQUIST, J.A. **Wood-based Composites and Panel Products. Forest Products Laboratory. Wood handbook—Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. 1999.

ANEXOS**(Anexo I) - Boletim técnico da farinha de Madeira Inbrasfama.**

INBRASFAMA IND. BRASILEIRA DE FARINHA DE MADEIRA LTDA

DE : INBRASFAMA IND. BRASL. DE FARINHA DE MADEIRA LTDA
 PARA: DEPRATAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE
 REF.: LAUDO DE ANALISE DE FARINHA DE MADEIRA
 PRODUTO: 2042 UMIDADE : 10

CLIENTE:

ANALISTA:

DATA:

NF:

LOTE :

DATA 29.03.05

30= 15.2

40= 55.6

50= 18.6

60= 3.8

70= 5.8

80= 06

100=04

140=00

200=0.0

FUNDO:0.0

TOTAL:100

UMIDADE DO AR: 80 TEMP. AMBIENTE : 20°C DENSIDADE: .0.24

ELABORAÇÃO:	APROVAÇÃO:
CARGO:ANALISTA	CARGO : SUPERVISOR DE PRODUÇÃO
RESPONSAVEL: ELIZABETE	RESPONSAVEL:
DATA:29.03.05	DATA:
ASSINATURA	ASSINATURA:

(Anexo II) - Análise de variância.

Análise de Experimento – FLEXÃO ESTÁTICA - MOE

Estimated effects for MOE FLEX

```
-----
average           = 18810,7 +/- 506,952
A:NIVEL COLA+block = 11556,1 +/- 1013,9
B:TEMPO DE PRENSA = 2519,46 +/- 1013,9
C:FORMACAO COLCHAO = 8389,46 +/- 1013,9
AB                = -761,12 +/- 1013,9
AC                = 6759,77 +/- 1013,9
BC                = -610,575 +/- 1013,9
-----
```

Standard errors are based on total error with 73 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.

Analysis of Variance for MOE FLEX

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:NIVEL COLA+block	2,67089E9	1	2,67089E9	129,91	0,0000
B:TEMPO DE PRENSA	1,26954E8	1	1,26954E8	6,17	0,0153
C:FORMACAO COLCHAO	1,40766E9	1	1,40766E9	68,47	0,0000
AB	1,15861E7	1	1,15861E7	0,56	0,4553
AC	9,1389E8	1	9,1389E8	44,45	0,0000
BC	7,45604E6	1	7,45604E6	0,36	0,5489
Total error	1,50088E9	73	2,056E7		

Total (corr.)	6,63932E9	79			

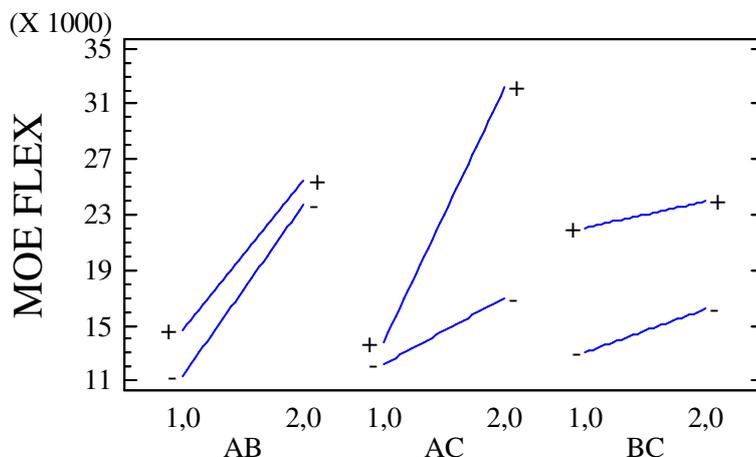
R-squared = 77,394 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 75,536 percent
 Standard Error of Est. = 4534,32
 Mean absolute error = 3421,36
 Durbin-Watson statistic = 1,48748

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in MOE FLEX into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 77,394% of the variability in MOE FLEX. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 75,536%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 4534,32. The mean absolute error (MAE) of 3421,36 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Interaction Plot for MOE FLEX



Regression coeffs. for MOE FLEX

```

-----
constant          = 9359,47
A:NIVEL COLA      = -6439,8
B:TEMPO DE PRENSA = 6634,55
C:FORMACAO COLCHAO = -10058,1
AB                = -1522,24
AC                = 13519,5
BC                = -1221,15
-----

```

The StatAdvisor

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

$$\text{MOE FLEX} = 9359,47 - 6439,8 \cdot \text{NIVEL COLA} + 6634,55 \cdot \text{TEMPO DE PRENSA} - 10058,1 \cdot \text{FORMACAO COLCHAO} - 1522,24 \cdot \text{NIVEL COLA} \cdot \text{TEMPO DE PRENSA} + 13519,5 \cdot \text{NIVEL COLA} \cdot \text{FORMACAO COLCHAO} - 1221,15 \cdot \text{TEMPO DE PRENSA} \cdot \text{FORMACAO COLCHAO}$$

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize MOE FLEX

Optimum value = 32737,3

Factor	Low	High	Optimum
NIVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	2,0
FORMACAO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

The StatAdvisor

This table shows the combination of factor levels which maximizes MOE FLEX over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.

Análise de Experimento – FLEXÃO ESTÁTICA - MOR

Estimated effects for MOR FLEX

```
-----
average           = 128,513 +/- 6,03105
A:NIVEL COLA+block = 96,09 +/- 12,0621
B:TEMPO DE PRENSA = 32,745 +/- 12,0621
C:FORMACAO COLCHAO = 88,33 +/- 12,0621
AB                = 2,46 +/- 12,0621
AC                = 55,605 +/- 12,0621
BC                = 1,66 +/- 12,0621
-----
```

Standard errors are based on total error with 73 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.

Analysis of Variance for MOR FLEX

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:NIVEL COLA+block	184666,0	1	184666,0	63,46	0,0000
B:TEMPO DE PRENSA	21444,7	1	21444,7	7,37	0,0083
C:FORMACAO COLCHAO	156044,0	1	156044,0	53,63	0,0000
AB	121,032	1	121,032	0,04	0,8390
AC	61838,3	1	61838,3	21,25	0,0000
BC	55,112	1	55,112	0,02	0,8909
Total error	212422,0	73	2909,89		

Total (corr.)	636591,0	79			

R-squared = 66,6313 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 63,8887 percent

Standard Error of Est. = 53,9434

Mean absolute error = 27,859

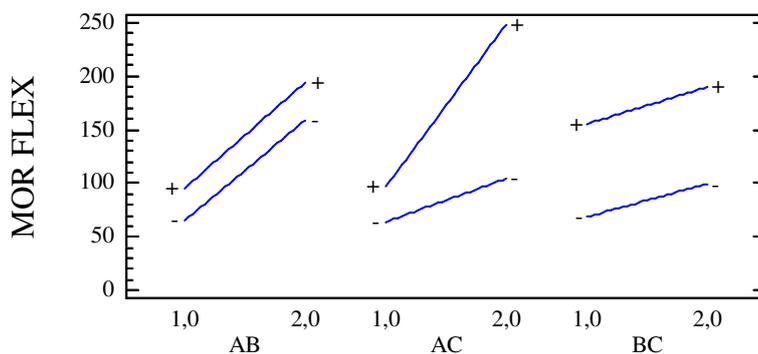
Durbin-Watson statistic = 1,91072

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in MOR FLEX into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 66,6313% of the variability in MOR FLEX. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 63,8887%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 53,9434. The mean absolute error (MAE) of 27,859 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Interaction Plot for MOR FLEX



Regression coeffs. for MOR FLEX

```
-----
constant          = 71,5275
A:NIVEL COLA      = -78,105
B:TEMPO DE PRENSA = 20,385
C:FORMACAO COLCHAO = -83,465
AB                = 4,92
AC                = 111,21
BC                = 3,32
-----
```

The StatAdvisor

 This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

$$\text{MOR FLEX} = 71,5275 - 78,105 \cdot \text{NIVEL COLA} + 20,385 \cdot \text{TEMPO DE PRENSA} - 83,465 \cdot \text{FORMACAO COLCHAO} + 4,92 \cdot \text{NIVEL COLA} \cdot \text{TEMPO DE PRENSA} + 111,21 \cdot \text{NIVEL COLA} \cdot \text{FORMACAO COLCHAO} + 3,32 \cdot \text{TEMPO DE PRENSA} \cdot \text{FORMACAO COLCHAO}$$

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

 Goal: maximize MOR FLEX

Optimum value = 266,958

Factor	Low	High	Optimum
NIVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	2,0
FORMACAO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

The StatAdvisor

 This table shows the combination of factor levels which maximizes MOR FLEX over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.

Analise de Experimento - COMPRESSÃO

Estimated effects for COMPRES

```

-----
average           = 323,544 +/- 11,538
A:NIVEL COLA+block = 237,349 +/- 23,076
B:TEMPO DE PRENSA = 72,6882 +/- 23,076
C:FORMACAO COLCHAO = 210,33 +/- 23,076
AB                = 6,99825 +/- 23,076
AC                = 121,637 +/- 23,076
BC                = 5,31175 +/- 23,076
-----

```

Standard errors are based on total error with 73 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.

Analysis of Variance for COMPRES

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:NIVEL COLA+block	1,12669E6	1	1,12669E6	105,79	0,0000
B:TEMPO DE PRENSA	105672,0	1	105672,0	9,92	0,0024
C:FORMACAO COLCHAO	884776,0	1	884776,0	83,08	0,0000
AB	979,51	1	979,51	0,09	0,7625
AC	295912,0	1	295912,0	27,79	0,0000
BC	564,294	1	564,294	0,05	0,8186
Total error	777454,0	73	10650,1		
Total (corr.)	3,19205E6	79			

R-squared = 75,644 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 73,6422 percent

Standard Error of Est. = 103,199

Mean absolute error = 73,1755

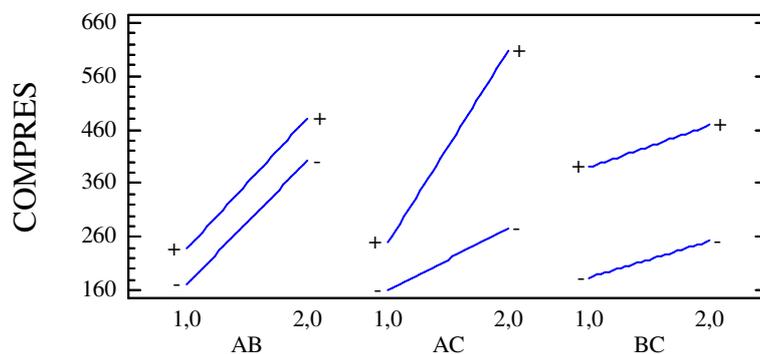
Durbin-Watson statistic = 1,16184

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in COMPRES into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 4 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 75,644% of the variability in COMPRES. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 73,6422%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 103,199. The mean absolute error (MAE) of 73,1755 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is less than 1.4, there may be some indication of serial correlation. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern which can be seen.

Interaction Plot for COMPRES



Regression coeffs. for COMPRES

```
-----
constant          = 145,756
A:NIVEL COLA      = -148,558
B:TEMPO DE PRENSA = 35,7583
C:FORMACAO COLCHAO = -170,517
AB                = 13,9965
AC                = 243,275
BC                = 10,6235
-----
```

The StatAdvisor

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is $COMPRES = 145,756 - 148,558 \cdot NIVEL\ COLA + 35,7583 \cdot TEMPO\ DE\ PRENSA - 170,517 \cdot FORMACAO\ COLCHAO + 13,9965 \cdot NIVEL\ COLA \cdot TEMPO\ DE\ PRENSA + 243,275 \cdot NIVEL\ COLA \cdot FORMACAO\ COLCHAO + 10,6235 \cdot TEMPO\ DE\ PRENSA \cdot FORMACAO\ COLCHAO$

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize COMPRES

Optimum value = 650,701

Factor	Low	High	Optimum
NIVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	2,0
FORMACAO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

The StatAdvisor

This table shows the combination of factor levels which maximizes COMPRES over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.

Análise de Experimento – LIGAÇÃO INTERNA

Estimated effects for LIG INT

```
-----
average           = 242,387 +/- 9,52135
A:NIVEL COLA+block = 167,125 +/- 19,0427
B:TEMPO DE PRENSA = 48,225 +/- 19,0427
C:FORMACAO COLCHAO = 75,925 +/- 19,0427
AB                = -25,725 +/- 19,0427
AC                = -19,325 +/- 19,0427
BC                = -31,525 +/- 19,0427
-----
```

Standard errors are based on total error with 73 d.f.

The StatAdvisor

This table shows each of the estimated effects and interactions. Also shown is the standard error of each of the effects, which measures their sampling error. To plot the estimates in decreasing order of importance, select Pareto Charts from the list of Graphical Options. To test the statistical significance of the effects, select ANOVA Table from the list of Tabular Options. You can then remove insignificant effects by pressing the alternate mouse button, selecting Analysis Options, and pressing the Exclude button.

Analysis of Variance for LIG INT

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:NIVEL COLA+block	558615,0	1	558615,0	77,02	0,0000
B:TEMPO DE PRENSA	46513,0	1	46513,0	6,41	0,0135
C:FORMACAO COLCHAO	115292,0	1	115292,0	15,90	0,0002
AB	13235,5	1	13235,5	1,82	0,1809
AC	7469,11	1	7469,11	1,03	0,3135
BC	19876,5	1	19876,5	2,74	0,1021
Total error	529431,0	73	7252,49		

Total (corr.)	1,29043E6	79			

R-squared = 58,9726 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 55,6005 percent

Standard Error of Est. = 85,1615

Mean absolute error = 63,5206

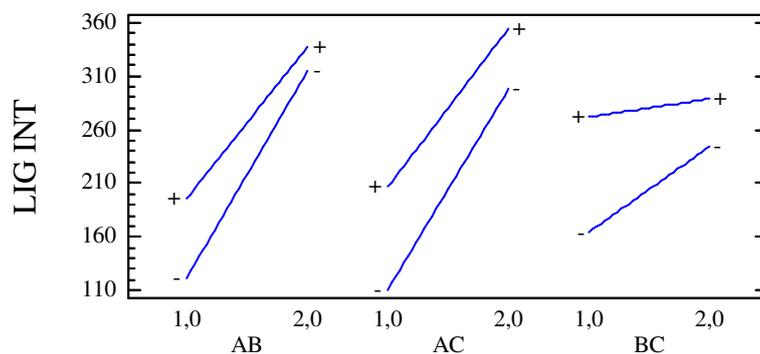
Durbin-Watson statistic = 1,55306

The StatAdvisor

The ANOVA table partitions the variability in LIG INT into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 3 effects have P-values less than 0,05, indicating that they are significantly different from zero at the 95,0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 58,9726% of the variability in LIG INT. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 55,6005%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 85,1615. The mean absolute error (MAE) of 63,5206 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Interaction Plot for LIG INT



Regression coeffs. for LIG INT

```
-----
constant          = -539,112
A:NIVEL COLA     = 302,275
B:TEMPO DE PRENSA = 219,975
C:FORMACAO COLCHAO = 228,475
AB               = -51,45
AC               = -38,65
BC               = -63,05
-----
```

The StatAdvisor

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is $LIG\ INT = -539,112 + 302,275 \cdot NIVEL\ COLA + 219,975 \cdot TEMPO\ DE\ PRENSA + 228,475 \cdot FORMACAO\ COLCHAO - 51,45 \cdot NIVEL\ COLA \cdot TEMPO\ DE\ PRENSA - 38,65 \cdot NIVEL\ COLA \cdot FORMACAO\ COLCHAO - 63,05 \cdot TEMPO\ DE\ PRENSA \cdot FORMACAO\ COLCHAO$

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize LIG INT

Optimum value = 358,762

Factor	Low	High	Optimum
NIVEL COLA	1,0	2,0	2,0
TEMPO DE PRENSA	1,0	2,0	1,0
FORMACAO COLCHAO	1,0	2,0	2,0

The StatAdvisor

This table shows the combination of factor levels which maximizes LIG INT over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.