

# DOSSIÊ TÉCNICO

Reconstituição de chapas de aglomerado

Renato Bernardi

**SENAI-RS**  
Centro Tecnológico do Mobiliário

Novembro  
2006

**Sumário**

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>7</b>
<b>3 HISTÓRICO</b> .....	<b>7</b>
3.1 Histórico no mundo .....	7
3.2 Histórico no Brasil .....	8
<b>4 MADEIRA AGLOMERADA</b> .....	<b>14</b>
<b>5 MADEIRA NATURAL</b> .....	<b>15</b>
<b>6 AGLOMERANTES</b> .....	<b>15</b>
<b>7 DESINTEGRAÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA</b> .....	<b>15</b>
<b>8 PRODUÇÃO DA CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA</b> .....	<b>19</b>
<b>9 ADESIVOS E ADITIVOS</b> .....	<b>21</b>
<b>9.1 Adesivos</b> .....	<b>21</b>
9.1.1 Classificação dos adesivos .....	21
9.1.2 Adesivos empregados na fabricação de chapas de aglomerado .....	22
<b>9.2 Aditivos</b> .....	<b>24</b>
<b>10 RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO PARA CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA</b> .....	<b>24</b>
10.1 Aplicação da resina .....	24
10.2 Formol livre .....	25
10.3 Reatividade .....	25
10.4 Toxicidade e manuseio .....	25
10.5 Armazenamento .....	25
<b>11 COLAGEM NA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA</b> .....	<b>26</b>
<b>12 FORMALDEÍDO</b> .....	<b>28</b>
12.1 A importância do formaldeído .....	28
12.2 Método de teste .....	28
12.3 O método da FIRA .....	29
12.4 Liberação do formaldeído .....	29
12.5 Método de análise .....	29
12.6 Classificação dos produtos conforme o formaldeído .....	30
<b>13 O MEIO AMBIENTE</b> .....	<b>30</b>
<b>14 RESÍDUOS</b> .....	<b>33</b>
14.1 Redução dos resíduos .....	33
14.2 Resíduos de móveis .....	34
14.3 Reciclagem .....	34
<b>15 PRODUÇÃO DE CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA</b> .....	<b>34</b>
<b>16 PREPARAÇÃO DOS CAVACOS</b> .....	<b>35</b>
<b>17 SECAGEM</b> .....	<b>35</b>
<b>18 PREPARAÇÃO DO ADESIVO</b> .....	<b>35</b>
<b>19 PREPARAÇÃO DA CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADO</b> .....	<b>35</b>
19.1 Etapas para a fabricação da chapa de madeira aglomerada .....	36
19.2 Processo de fabricação da chapa de madeira aglomerada .....	36
<b>20 PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA</b> .....	<b>36</b>
<b>21 ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS</b> .....	<b>37</b>
21.1 Dimensional dos corpos-de-prova .....	37
21.2 Densidade .....	37
21.3 Absorção e inchamento .....	37

<b>21.4 Arranque de parafusos .....</b>	<b>37</b>
<b>21.5 Resistência à tração perpendicular .....</b>	<b>37</b>
<b>21.6 Resistência à flexão .....</b>	<b>37</b>
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## Lista de Figuras

FIG. 1 – Fluxograma representativo dos produtos derivados da madeira reconstituída.....	10
FIG. 2 – Mapa de localização dos fabricantes de chapas de madeira reconstituída no Brasil ...	10
FIG. 3 – Quebrador estático.....	16
FIG. 4 – Material pré-quebrado para tratamento posterior.....	16
FIG. 5 – Processo da WKI para desintegrar retalhos de chapas de aglomerado .....	18
FIG. 6 – Equipamentos da WKI para desintegrar retalhos de chapas de aglomerado .....	19
FIG. 7 – Equipamentos da WKI para desintegrar retalhos de chapas de aglomerado .....	20
FIG. 8 – Móveis velhos e restos de chapas de madeira aglomerada .....	34
FIG. 9 – Peneira .....	35
FIG. 10 – Equipamento Granu Test .....	35
FIG. 11– Prensa hidro-elétrica .....	36
FIG. 12 – Misturador de cola.....	36

## Lista de Quadros

QUADRO 1 - Cronologia do desenvolvimento da indústria de chapa de madeira aglomerada....	7
QUADRO 2 - Defasagem brasileira em relação aos produtos de madeira reconstituída .....	9
QUADRO 3 – Tipos de produtos, localização e capacidade nominal instalada (m <sup>3</sup> /ano) .....	11
QUADRO 4 – Área total reflorestada em hectares com os gêneros Eucalyptus spp e Pinus spp no Brasil .....	12
QUADRO 5 – Curvas de reatividade.....	25
QUADRO 6 – Tempo de vida da RUF AA1801 a 400C .....	25
QUADRO 7 – Tempo de vida da RUF AA1801 a 700C .....	25

	<p>DOSSIÊ TÉCNICO</p>	
---	-----------------------	---

## Título

Reconstituição de chapas de aglomerado

## Assunto

2021-4/00 - Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada ou aglomerada

## Resumo

Estudo sobre a desaglomeração de retalhos de chapas de madeira aglomerada e a reconstituição de novas chapas. Para a reconstituição da chapa, é utilizada resina de uréia-formaldeído, nas mesmas proporções utilizadas para o processamento de chapas pela indústria de fabricante de aglomerado. Apresenta os resultados de ensaios de caracterização física e mecânica e uma comparação com o que determina a norma técnica NBR 14810-2:2002, para a fabricação de chapas de madeira aglomerada.

## Palavras-chave

Aglomerado; aproveitamento de resíduo; chapa; madeira

## Conteúdo

### 1 INTRODUÇÃO

Os principais produtos sólidos de madeira são as chapas de aglomerado e os seus concorrentes diretos como a madeira serrada, o compensado, MDF (*Médium Density Fiberboard*) e a chapa de fibra ou chapa dura. Nas duas últimas décadas, a chapa de madeira aglomerada destacou-se no mercado nacional como o principal substituto da chapa de compensado, acompanhando tendência verificada no mundo. Os produtos derivados da madeira aparecem como uma alternativa para a redução da heterogeneidade do material utilizado pela indústria moveleira e, em geral obtido de diversas fontes. Tais produtos apresentam qualidades análogas às da madeira, reduzem suas limitações e podem ser aplicados em situações antes restritas a outros materiais. Um outro fator importante que confirma o desenvolvimento de produtos derivados da madeira é a possibilidade de elaborar compósitos com o aproveitamento de resíduos de processamento da madeira ou ainda de processamento de resíduos de chapas de madeira aglomerada, sem perda da qualidade do produto. Dentre esses produtos derivados, podem ser destacados as chapas de madeira aglomerada, que aparecem como sendo ainda a principal matéria-prima para a fabricação de mobiliário, tanto no mercado nacional como internacional.

A falta de madeira maciça na quantidade e qualidade necessárias à fabricação de mobiliário, associadas aos altos custos de transporte e o déficit provocado pelo fator consumo em relação ao fator plantio, têm levado o setor moveleiro a buscar alternativas que possam garantir a produção de mobiliário demandado pelo mercado. A fabricação do aglomerado originado a partir do reaproveitamento de resíduos visa atender especificamente a indústria do móvel, embora possa vir a ter outras aplicações.

As chapas de madeira aglomerada são fabricadas com cavacos de madeira ou outros materiais aglutinados por meio de uma resina a base de uréia-formaldeído e, em seguida, prensados à quente. Durante o processo de produção, são adicionados diversos produtos químicos, sendo a uréia-formaldeído o aglutinante e a parafina o protetor contra umidade, fungicidas, entre outros, para evitar o mofo e o ataque de insetos.

As principais fontes de matérias-primas utilizadas pelas fábricas de chapas de madeira aglomerada são: madeira proveniente de trato cultural de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia. Madeiras de qualidade inferior não industrializáveis de outra forma. Resíduos de exploração florestal e resíduos industriais. No Brasil, a madeira de florestas plantadas, especialmente de *Eucalyptus spp* e *Pinus spp*, constituem a fonte mais importante de matérias-primas para a fabricação de aglomerado.

A chapa de madeira aglomerada possui múltiplas aplicações, dentre as quais se destacam na fabricação de móveis, tampos de mesas, laterais e portas de armários, divisórias, laterais de estantes e, de forma secundária, na indústria de construção civil. No Brasil, a principal utilização é na indústria moveleira.

Entre os principais países produtores de aglomerado, destacam-se: a Alemanha, com 17% da produção mundial e os Estados Unidos, com 14%. O Brasil fabrica cerca de 2% dos painéis de aglomerado produzidos no mundo (ABIPA, 2004).

O consumo mundial de painéis de madeira aglomerada apresentou, entre 1990 e 1998, uma taxa média de crescimento cerca de 1,3% ao ano, atingindo naquele último ano, segundo estimativas da Jaakko Pöyry (1999), o volume de 56 milhões de metros cúbicos.

Os fabricantes de móveis localizados nos pólos moveleiros são os principais mercados consumidores de aglomerado, posto que entre 80% e 90% do volume produzido é destinado à fabricação de móveis. A maior parcela da produção nacional é absorvida diretamente pela indústria moveleira. Um volume menor é comercializado pelas revendas e destinado ao setor moveleiro de pequeno porte: os fabricantes de móveis sob encomenda. Tal forma de comercialização deve ser atribuída ao fato do pequeno industrial moveleiro não ter capacidade financeira de efetuar encomendas no atacado ao setor produtor.

Atualmente, os móveis são produzidos predominantemente no Sul e Sudeste do País. A localização das empresas produtoras de aglomerado nessas regiões leva em consideração a concentração dos pólos moveleiros uma vez que a proximidade com esses pólos é estratégica para garantir o abastecimento à indústria devido aos menores custos de transporte e vice-versa.

Pesquisa da Universidade de Caxias do Sul -UCS indica que as empresas que compõem a Cadeia Produtiva Madeira Móveis, geram um volume significativo de resíduos, principalmente na indústria de madeira serrada, lâminas e compensado, que gira em torno de 19.250.000 m<sup>3</sup>/ano. Nesse segmento, os resíduos representam 50,71% do volume original de toras de árvores que lhes deram origem (SCHNEIDER, 2004).

A mesma fonte cita que a falta de informações mais precisas sobre a quantidade e característica dos resíduos gerados pela indústria do móvel, não possibilita indicar modelos de gestão desses resíduos. Por outro lado, o Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL tem disponibilizado diversas ferramentas para a gestão destes resíduos. O impasse se encontra na importância que as empresas moveleiras dão ao tratamento de questões voltadas ao controle de geração de resíduos bem como o destino a ser dado.

O levantamento da quantidade e dos tipos de resíduos gerados pela indústria moveleira e o seu destino, torna-se de fundamental importância, formando a base para projetos de pesquisa e formulação de modelos de gerenciamento que possibilitem alternativas para melhor aproveitamento da matéria-prima.

Segundo relatórios internos do Centro Tecnológico do Mobiliário (2002), a redução de matérias-primas na fonte é uma prática que visa diminuir o consumo de materiais ao longo do ciclo de vida do produto, sendo uma das alternativas mais desejáveis em termos de diminuição de impactos ambientais, pois ao reduzir-se o consumo de matérias-primas, reduz-se também a quantidade de resíduos gerados. Durante todo o ciclo de vida de um produto, são produzidos diversos tipos de resíduos, sendo que o descarte, após a vida útil, é apenas uma fração destes resíduos, eles se encontram presentes também durante a fabricação e uso. Assim, é importante a adoção de tecnologias que recuperem estes resíduos, aproveitando ao máximo a matéria-prima, obtendo-se ganhos ambientais e econômicos. Porém, é importante lembrar que se é mais ecologicamente eficiente à medida que uma menor quantidade de resíduos é gerada.

Como ponto positivo relacionado às práticas ambientais, para as empresas localizadas na região de estudo - a Serra Gaúcha, pode ser citada a forma como as empresas estão gerenciando seus resíduos. A maioria delas está associada à Fundação Bentogonçalvese Pró-Ambiente - PROAMB que dispõe de um aterro industrial e um sistema de gerenciamento de resíduos, considerada modelo no Estado do Rio Grande do Sul. A reciclagem dos resíduos, também se destaca como fator positivo, principalmente nas empresas que utilizam o metal como matéria-prima. Duas observações necessitam ser feitas com relação ao que pode ser melhorado no destino dado aos resíduos das empresas: a primeira é que poderia haver um aproveitamento melhor da serragem e cavacos de madeira, utilizando-os, por exemplo, para a fabricação de chapas de madeira aglomerada de tamanho reduzido e assim poder-se-ia aumentar o número de projetos para a redução dos resíduos gerados, pois, numa visão ambiental mais ampla, melhor do que dar um destino adequado aos resíduos é não gerá-los. A segunda, buscar alternativas junto a órgãos de fomento para instalação de uma planta de geração de energia a partir dos resíduos industriais derivados da madeira, tinta e lixas. Também poderiam ser aproveitados resíduos de madeira da construção civil e até mesmo, lixo urbano.

O alto controle dos gastos com energia elétrica, com a tomada de medidas para redução do consumo, destaca-se como uma prática que pode ser associada ao *ecodesign* nas empresas fabricantes de móveis. Porém, alguns fatores devem ser melhorados em termos ambientais, como a correta escolha de matérias-primas menos impactantes ao meio ambiente. Este fator ainda é muito tênue nas empresas.

Apesar da crescente utilização de madeira reflorestada, a oferta de madeira com certificado ambiental que atesta proveniência de floresta manejada de forma sustentável, ainda é muito pequena no RS. Ainda são utilizadas madeiras que estão com as reservas quase esgotadas, como por exemplo, o pau-marfim, e há programas muito incipientes para incentivar a substituição por madeiras mais rapidamente renováveis, principalmente para a fabricação de móveis de madeira maciça de valor agregado maior. Neste ponto, também podem ser utilizados os novos produtos que já estão no mercado, como por exemplo: novos sistemas de pintura utilizando tinta em pó, adesivos biodegradáveis e com base de água e, ainda, tintas e vernizes livres de solventes prejudiciais ao meio ambiente.

Países como Alemanha, Itália e Espanha têm buscado alternativas para a redução dos impactos ambientais ocasionados pela geração de resíduos provenientes da industrialização de chapas de aglomerado. Uma delas, e talvez a mais significativa, é a experiência desenvolvida pela WKI da Alemanha que desenvolveu um processo de recuperação dos resíduos de chapas de madeira aglomerada no final da década de 90 e transformou o invento em um grande negócio, transformando resíduo em matéria-prima para fabricação de mobiliário.

No Brasil, há muitos experimentos para uso do mesmo resíduo, no entanto, os experimentos se concentram na moagem dos retalhos de chapas de aglomerado e a utilização de polímero reciclado como elemento de aglutinação.

## 2 OBJETIVO

Contribuir para o desenvolvimento sustentável e a redução dos impactos ambientais, através da utilização dos resíduos de madeira aglomerada na fabricação de novas chapas de madeira aglomerada.

## 3 HISTÓRICO

### 3.1 Histórico no mundo

A madeira aglomerada surgiu nos Estados Unidos, em razão da necessidade do aproveitamento de restos de madeira das serrarias que se acumulavam e ocupavam grandes espaços nos pátios e interior das mesmas. Segundo Carnos (1988), os norte-americanos já demonstravam preocupação no aproveitamento dos resíduos por volta de 1887, através de publicação técnica que apresentava sugestões para a transformação de restos de madeira em tábuas ou chapas. A idéia e as primeiras experiências partiram de técnicos dos Estados Unidos. Logo a seguir, técnicos da Alemanha, enfrentando o mesmo problema, se interessaram pela mesma idéia e também começaram a estudar o assunto.

A primeira planta piloto para produzir aglomerado foi instalada nos Estados Unidos em 1905. A partir desta data, as experiências foram se desenvolvendo de tal maneira que grandes empresas fabricantes de máquinas e equipamentos se voltaram para a fabricação de máquinas para a indústria de madeira aglomerada, com isso, surgiram grandes unidades fabris junto a centros industriais e comerciais do mundo todo, voltadas para a fabricação de chapas de madeira aglomerada.

Os relatos mais detalhados sobre o desenvolvimento da indústria de chapas de madeira aglomerada foram feitos pelo Dr. Wilhen Klauditz, diretor do Instituto de Pesquisas de Madeiras, na Escola Superior de Braunschweig, na Alemanha, com a cooperação do professor F. Kollm, técnico madeireiro de fama mundial (Quadro 1).

QUADRO 1 - Cronologia do desenvolvimento da indústria de chapa de madeira aglomerada.

Ano	Acontecimento
1905	Foi instalada nos Estados Unidos, uma fábrica piloto, idealizada por Watson, no sistema então denominado de <i>Flaceboard</i> .
1918	Beckman tentou transformar serragem em chapas.
1926	Freudenberg tentou o mesmo que Beckman.
1933	Foi instalada nos Estados Unidos a primeira fábrica que conseguiu produzir madeira aglomerada na espessura de 3,2 mm.
1935	Neumayer registrou uma patente com sugestões para a produção de chapas multiplacadas <sup>4</sup> .
1936	A. Pfohl registrou a primeira patente com indicações quase exatas sobre a fabricação de chapas a partir de lascas cortadas de tamanhos pré-determinados, com a adição de aglomerante. O processo não evoluiu.
1938	Nos estados Unidos foi instalada uma fábrica no sistema Pfohl e na Alemanha iniciava-se a produção de madeira aglomerada fenólica.
1941	Foram fabricadas na Alemanha, com bases industriais, as primeiras chapas, utilizando-se serragem e sobras da indústria de compensados, rudimentarmente triturados.

(continua)

(continuação)

1942	Foram produzidas industrialmente cerca de 500.000 m <sup>2</sup> de chapas.
1943	Foram montadas as primeiras usinas segundo os planos traçados por Fahrni, que patenteou o sistema Novopan.
1947	A fabricação de chapas sofreu considerável estagnação após o término da segunda guerra mundial, devido, em grande parte, às dificuldades na obtenção de aglomerante e da própria madeira.
1949	Com o desenvolvimento da produção de resinas sintéticas adesivas, a fabricação de chapas aglomeradas foi reativada, notando-se o interesse dos fabricantes de máquinas que começaram a oferecer ao mercado cortadores de partículas, secadores, peneiras, prensas hidráulicas especiais e outros equipamentos necessários para o beneficiamento da madeira e confecção de chapas artificialmente.
1952	Chegaram aos usuários, na Alemanha, as primeiras chapas destinadas à indústria moveleira.
1958	Deste período até os dias atuais, a produção mundial de chapas de madeira aglomerada vem aumentando de maneira impressionante.
1965	É instalada a primeira fábrica de madeira aglomerada no Brasil no Paraná.
2002	É criada a primeira norma técnica brasileira para chapas de madeira aglomerada NBR 14.810.

Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico do Mobiliário.

Os técnicos norte-americanos foram os primeiros a fabricar uma tábua artificial, em vez de fazer madeira compensada. Eles desfibraram madeira natural que foram comprimidas de novo, numa mistura homogênea, com ajuda de um aglutinante.

Na Europa, o método foi desenvolvido pelo suíço Fahrni (pai) e o alemão Himmelheber Fahrni (filho) criou a primeira chapa de três camadas em forma prática, usável e que foi produzida industrialmente.

Himmelheber coletou e interpretou as primeiras experiências, com o desenvolvimento de aglomerado a base de uréia-formaldeído, sobre a execução técnica, o valor econômico e o aproveitamento de aglomerado.

Uma das primeiras sugestões sobre a fabricação de madeira artificial foi apresentada na revista A Valorização dos Restos de Madeira, editada em 1887. O produto obtido através da utilização da serragem e cola de albumina de sangue, com auxílio de pressão e temperatura.

### 3.2 Histórico no Brasil

Por se tratar de um produto pouco conhecido pelos fabricantes de móveis, os moveleiros não se interessaram inicialmente por seu emprego. Julgavam que chapas de madeira aglomerada não passavam de uma espécie de papelão endurecido, portanto, sem a devida resistência para a finalidade a que se propunha, a fabricação de móveis. Esse preconceito ocorreu antes que o aglomerado confirmasse a sua utilização, apenas pela sua aparência. No entanto, alguns fabricantes de móveis, por terem vindo de países onde já se utilizava o aglomerado, outros por terem participado de feiras no exterior ou ainda pela leitura de publicações técnicas estrangeiras quanto ao emprego do aglomerado na fabricação de móveis, temerosamente mostraram algum interesse pela nova madeira disponível.

Arruda (1997) descreve que nunca a indústria moveleira do Brasil foi submetida a mudanças tão intensas e profundas como as que aconteceram nas últimas décadas em razão do surgimento das chapas de madeira aglomerada e outras. As chapas de madeira aglomerada revolucionaram processos de fabricação e conceitos tradicionais. Há fortes motivos para tantas

transformações. Madeiras como o mogno, a cerejeira e o cedro, por exemplo, tornaram-se mais difíceis de obtenção, tanto pelo alto custo, quanto pela dificuldade de oferta.

Quadro 2 - Defasagem brasileira em relação aos produtos de madeira reconstituída.

<b>Produtos</b>	<b>Mundo</b>	<b>Brasil</b>	<b>Defasagem (anos)</b>
Compensado	1913	1940	27
Chapa de fibra	1930	1955	25
Madeira aglomerada	1950	1966	16
MDF	1970	1998	28
Waferboard	1975	-	25*
OSB	1975	2002	27
Homogeneous board	1980	1990	10
LVL	1972	-	29*
Madeira-Cimento	1914	-	87*

Fonte: REMADE, 2004.

O primeiro grande referencial desta época e que se tornou um marco no setor, foi o uso da chapa de madeira aglomerada, utilizando-se madeira reflorestada, principalmente *Pinus spp* e *eucalyptus spp*. A utilização da madeira de *Pinus spp* para a fabricação de aglomerado teve um incremento muito grande a partir da segunda metade da década de 70. Na década de 80, a indústria de móveis passa a demandar chapas de aglomerado revestidas com melamina (BP). Essa matéria-prima se constituiu no principal insumo para a fabricação de móveis em todo o mundo. No Quadro 2, acima, vê-se a defasagem brasileira em relação aos produtos de madeira reconstituída, em relação aos países de primeiro mundo.

O Brasil, com pólos moveleiros distribuídos também em outras regiões que não os localizados no centro sul e agrupados pelo Serviço Brasileiro de Apoio Empresarial (SEBRAE) em Arranjos Produtivos Locais (APL's), também se constituem como parte expressiva do mercado consumidor de aglomerado, sendo que, devido aos altos custos de frete, os preços dos produtos são mais elevados. Apesar de ainda não existir qualquer unidade produtora de aglomerado na Região Nordeste, projetos de implantação de fábricas de aglomerado poderão ser viabilizados. A demanda potencial regional para aglomerado no Nordeste é estimada em 330 mil m<sup>3</sup>/ano. Essa estimativa foi calculada a partir do que essa região importa do Sul e Sudeste: 30 mil m<sup>3</sup> em painéis e 300 mil m<sup>3</sup> em móveis.

Os principais produtos sólidos de madeira concorrentes do painel de aglomerado são a madeira serrada, o compensado, MDF (*Médium Density Fiberboard*) e a chapa de fibra ou chapa dura. Nas duas últimas décadas, a chapa de madeira aglomerada destacou-se no mercado nacional como o principal substituto da chapa de compensado, acompanhando tendência verificada no mundo (FIG. 1).

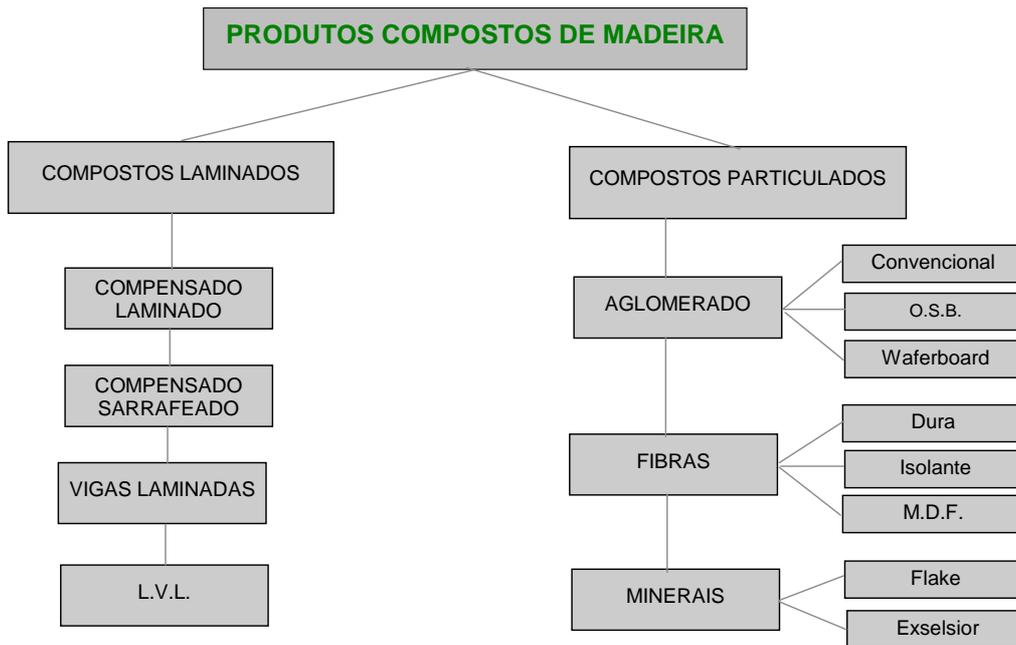


FIG. 1 - Fluxograma representativo dos produtos derivados da madeira reconstituída  
 Fonte: REMADE, 2002.

O crescimento do MDF tem sido elevado, pois a introdução do produto no mercado nacional veio a ocorrer no início dos anos 90. O consumo de chapa de fibra dura e de compensado tende a estagnar ou mesmo cair face à legislação ambiental, que vêm exigindo investimentos no processo de tratamento dos efluentes. Esses produtos vêm sendo substituídos pelo aglomerado e pelo MDF. A demanda por aglomerado tem aumentado principalmente devido à expansão do consumo de móveis retilíneos fabricados pela indústria de móveis do Sul do Brasil.

As projeções realizadas apontavam um incremento médio de 11% ao ano para as chapas de aglomerado até 2004, devendo ultrapassar este valor a partir de 2005. Esse índice é inferior ao do comportamento da demanda. Nos últimos oito anos, cresceu em média 13% ao ano.

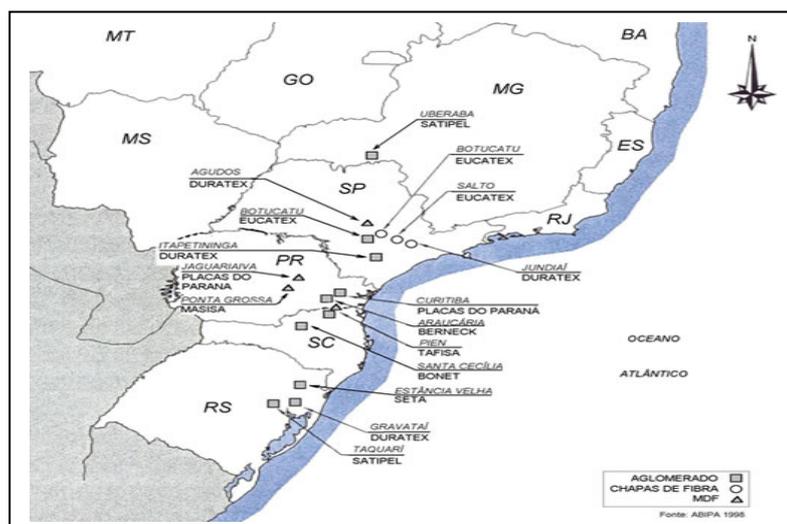


FIG. 2 - Mapa de localização dos fabricantes de chapas de madeira reconstituída no Brasil  
 Fonte: ABIPA, 1998.

Nos últimos anos, o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) financiou projetos de expansão da produção de aglomerado para a Tafisa na implantação de uma nova unidade produtiva com capacidade para produzir 165 mil m<sup>3</sup>/ano de aglomerado e 145 mil m<sup>3</sup>/ano de MDF e contou com o financiamento de R\$ 112.000.000,00 do BNDES (investimento total de R\$ 174.000.000,00). No projeto da Satipel para uma nova fábrica com capacidade de 360 mil m<sup>3</sup>/ano também contou com o apoio do BNDES, que financiou R\$ 50.000.000,00 em um investimento total de R\$ 159.000.000,00 (REMADE, 2002). Mais recentemente o grupo Isdra, investiu mais de R\$ 100.000,00 em uma moderna planta de MDF na cidade de Glorinha, Rio Grande do Sul. A planta tem capacidade para mais de 250 mil m<sup>3</sup>/ano de MDF, até 2005 (MOVERGS, 2004). Para 2005, está prevista a duplicação e modernização da planta da Satipel em Taquari, no Rio Grande do Sul e a implantação da planta de chapas de aglomerado da Isdra em Glorinha (SEDAI, 2004). Na FIG. 2, estão identificadas as localizações dos produtores de painéis de madeira reconstituídas no Brasil.

Em seis décadas, entre 1990 e 2050, aproximadamente duas rotações de florestas brasileiras de *Pinus spp*, serão necessárias para atender a demanda de madeira, pois a população mundial irá passar de cinco, para talvez 9,5 bilhões de pessoas. O consumo de madeira subirá quase na mesma proporção do crescimento populacional e o Brasil desponta como o grande potencial para atender a demanda de mercado devido a diversos fatores citados a seguir (AGEFLOR, 2001). No Brasil são necessários 50.000 ha de florestas para suprir uma fábrica de celulose branqueada de 500.000 ton./anuais. Na Escandinávia, a área requerida é de 800.000 ha enquanto que no Canadá esta exigência eleva-se para 1.600.000 ha. A grande variável, tempo, tem resposta mais rápida no Brasil (ABIPA, 2002). No Quadro 3, é possível verificar a localização, a capacidade instalada e o tipo de produto dos principais fabricantes de chapas de aglomerado no Brasil.

Quadro 3 - Tipos de produtos, localização e capacidade nominal instalada (m<sup>3</sup>/ano)

EMPRESA	LOCALIZAÇÃO	PRODUTO	CAPACIDADE INSTALADA/EMPRESA (m <sup>3</sup> /ano)
BERNECK AGLOMERADOS S.A.	Araucária/PR	Aglomerado	280.000 *400.000
BONET**	Santa Cecília/SC	Aglomerado	42.000 *52.000
DURATEX S.A.	Gravataí/RS Itapetininga/SP	Aglomerado	330.000 *380.000
	Botucatu/SP Jundiá/SP	Chapas de fibra	370.000
	Agudos/SP	MDF	180.000
EUCATEX S.A. IND. E COMER.	Botucatu/SP	Aglomerado	324.000 *360.000
	Salto/SP	Chapas de fibra	230.000
PLACAS DO PARANÁ S.A.	Curitiba/PR	Aglomerado	300.000
	Jaguariaíva/PR	MDF	220.000
MASISA	Ponta Grossa/PR	MDF	240.000
SATIPEL INDUSTRIAL S.A.	Uberaba/MG Taquari/RS	Aglomerado	340.000
SETA**	Esteio/RS	Aglomerado	9.000
TAFISA BRASIL S.A.	Piên/PR	Aglomerado MDF	204.000 145.000 *384.000

\* Aumento de produção; \*\* Não associada a ABIPA.

Fonte: ABIPA, 1998.

Quadro 4 - Área total reflorestada em hectares com os gêneros *Eucalyptus spp* e *Pinus spp* no Brasil

<b>Estado</b>	<b>Eucalipto</b>	<b>Pinus</b>	<b>Total</b>
Minas Gerais	1.523.750	143.410	1.667.160
São Paulo	574.150	202.010	776.160
Paraná	67.000	605.130	672.130
Santa Catarina	41.550	318.120	359.670
Bahia	213.400	238.390	451.790
Rio Grande do Sul	115.900	136.800	252.700
Outros	431.030	182.390	613.420
<b>Total</b>	<b>2.966.780</b>	<b>1.826.250</b>	<b>4.793.030</b>

Fonte: REMADE, 2004.

O ramo madeira sempre teve uma presença forte nas forças produtivas do país e não são poucas as cidades que se desenvolveram tendo com a base de sua economia, as madeireiras. Porém, quase todas através da exploração dos recursos naturais existentes não renováveis. O Brasil como um todo, e a região sul em particular, reúne condições excepcionais para o desenvolvimento de florestas. As áreas compreendidas pelos Estados do Paraná, Santa Catarina e o Rio Grande do Sul, onde havia extensas áreas cobertas por florestas com elevada taxa de produção por hectare, valores que se aproximavam de 500 m<sup>3</sup>/ha (enquanto a floresta Amazônica se situa em torno de 290 m<sup>3</sup>/ha), atestam a viabilidade de resgatar este patrimônio florestal e a vocação natural (solo/clima) para a produção de florestas. Esta elevada taxa de produção de biomassa florestal se deve, principalmente, à união de condições edáficas e climáticas que favorecem o desenvolvimento vegetal, e neste caso o crescimento de florestas de espécies exóticas tem se caracterizado como um grande fator de competitividade para a cadeia produtiva do móvel (BERNARDI, 2003). No Quadro 4, pode-se observar onde estão as florestas plantadas, quais as espécies de madeira e o total de área reflorestada.

Estima-se que cerca de 60% da madeira maciça industrializada pelas fábricas de móveis já é proveniente de plantios. O uso da madeira de eucalipto para a fabricação de mobiliário vem se consolidando no Brasil, principalmente após a implantação da moderna serraria da Aracruz, localizada na cidade de Teixeira de Freitas no sul da Bahia.

A demanda de madeira plantada para suprir todos os segmentos industriais é de 450 mil ha/ano de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* e a área reflorestada anualmente tem sido de 150 mil ha/ano, ocasionando, portanto, um déficit de 300 mil ha/ano (FORUM BRASILEIRO DE QUALIDADE E COMPETITIVIDADE, 2000). De acordo com esta tendência ocorrerá o colapso na oferta de madeiras já na primeira década do século XXI. Este fato aliado ao impacto ambiental provocado pela exploração de espécies tropicais, bem como ao crescente valor de mercado destas matérias-primas, conduz a necessidade do estudo de melhor aproveitamento tecnológico e da introdução de espécies alternativas no mercado.

De acordo com o Programa Nacional de Florestamento (PNF), o rendimento do desdobro de madeiras tropicais é de aproximadamente 35%. Por outro lado, poucas são as florestas plantadas existentes que possuem material com características de níveis de qualidade que permitam alto rendimento no processamento da madeira.

A falta de um padrão de qualidade que proporcione ao setor de base florestal reconhecimento internacional, está intimamente ligada com a falta de definição entre os diversos setores de um padrão nacional e competitivo para os produtos dos setores madeireiro e moveleiro.

O estudo de Venzke (2002 apud BERNARDI, 2003), aponta que a cadeia produtiva moveleira no Rio Grande do Sul tem uma grande importância para a economia do Estado, ela é responsável por 8% do PIB, no entanto, apresenta-se de forma pouco organizada,

prevalecendo a verticalização do setor. Muitas empresas optam por produzir desde a matéria-prima até o produto final, não confiando muitas etapas de produção a terceiros. Esta postura tende a gerar ineficiência em toda a cadeia, conforme coloca Coutinho (1999), ocorre que não há uma especialização em cada elo, gerando aumentos dos custos de produção. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Móveis (ABIMÓVEL, 2001), a difusão de novas matérias-primas para a confecção do móvel, como as madeiras reflorestadas e certificadas, traria a toda a cadeia produtiva grande vantagem competitiva. Isto, porém, é dificultado por alguns fatores, como por exemplo: a carência de fornecedores experientes no plantio especializado, assim como no processamento primário e secundário da madeira. Os baixos investimentos no projeto moveleiro, gerando pequena demanda da indústria por novos materiais, e a inexistência de interação da indústria moveleira com o consumidor final, prejudicando a identificação de novas tendências de mercado. Isto demonstra a necessidade de uma maior integração da cadeia produtiva, visando o seu fortalecimento.

Gorini (1998) observa que a distribuição e a assistência técnica são áreas que também podem melhorar muito na cadeia produtiva moveleira no Brasil. No que se refere à distribuição, acredita-se que as transformações previstas no varejo nacional, como o aumento da concentração e a entrada de novas empresas seguindo um movimento global de internacionalização, terão impactos positivos sobre o setor moveleiro nacional, cabendo destacar entre eles o aumento da eficiência produtiva em toda a cadeia e o melhor atendimento ao consumidor.

A Universidade de Caxias do Sul, através de seu Campus em Bento Gonçalves, realizou um trabalho de prospecção para quantificar o volume de resíduos de aglomerado e MDF gerados pela indústria moveleira das regiões de Bento Gonçalves, Flores da Cunha e Lagoa Vermelha. Os dados publicados apontam um volume de 6,2% de chapas de aglomerado utilizados pela indústria de móveis seriados, descartado como resíduo na forma de serragem e retalhos (UCS, 2004).

Na Feira de Hannover, na Alemanha em 1997, foi apresentado pela *Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut Holzforschung - WKI*, uma planta piloto para separação das partículas de madeira de painéis de aglomerado e MDF. O projeto piloto é de Markus Erbreich (1997 apud SENAI. RS, 2003). O projeto denominado de *Recycling of laminated boards*, utiliza retalhos de aglomerado e MDF que são quebrados em pedaços e colocados em uma autoclave juntamente com uma solução de água, ácido e uréia. O material é impregnado com esta solução e aquecido a uma temperatura de 110°C, por aproximadamente 20 minutos. Após, as fibras são separadas e secadas. As fibras ou partículas recuperadas são adicionadas ao material virgem para a fabricação de novos painéis.

As chapas de madeira reconstituída - aglomerado e MDF - são as matérias-primas mais utilizadas pela indústria de móveis. A madeira maciça também é bastante utilizada no Brasil, sendo que as madeiras provenientes de mata nativa estão com sua utilização em rápido declínio. A crescente utilização de tábuas provenientes de plantios das espécies *Pinus spp* e *Eucalyptus spp* vêm se firmando como substitutos naturais, principalmente na região centro sul do Brasil.

O Estado do Rio Grande do Sul possui uma extensa área de florestas plantadas de *Pinus spp*, *Eucalyptus spp* e acácia negra. Grande parte dos reflorestamentos existentes, estimados em 470.000 ha são predominantemente espécies de crescimento rápido como o *Pinus spp* que estão concentrados na metade sul do Estado, região de menor desenvolvimento econômico do RS. Por esta razão, a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul - FIERGS, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI-RS, a Associação Gaúcha de Empresas Florestais - AGEFLOR, em conjunto com outras entidades representativas do Estado, como a Associação das Indústrias de Móveis do Estado do RS - MOVERGS o Sindicato da Indústria de Serrarias, Carpintarias, Tanoarias, Esquadrias, Marcenarias, Móveis, Madeira Compensada e

Laminada, Aglomerados e Chapa de Fibra de Caxias do Sul - SINDIMADEIRA, o Sindicato da Indústria da Construção e do Mobiliário de Bento Gonçalves - DIMÓVEIS e o Sindicato da Indústria do Papel, Papelão e Cortiça do Estado do RS - SINPASUL, tiveram a iniciativa de dar suporte ao desenvolvimento da cadeia de base florestal local, considerando a possibilidade de implantação de um pólo madeireiro/moveleiro na metade sul do Estado. Desta forma, transformar o potencial florestal existente em bens e serviços, criando uma cadeia produtiva capaz de gerar mais empregos, renda e impostos, elementos fundamentais para a melhoria das condições de vida da população da região (AGEFLOR, 2002).

#### 4 MADEIRA AGLOMERADA

No Brasil, a normalização é recente. A primeira norma surgiu em 2002, NBR 14810. Pela norma brasileira, a definição é a seguinte:

Produto em forma de painel, variando de 3 a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob pressão e calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação, podem ser ainda incorporados aditivos para prover painéis com características especiais (ABNT, 2002).

Até 2002, a caracterização básica determinada para a madeira aglomerada brasileira era baseada em normas internacionais. É a seguinte a definição da madeira aglomerada nas normas da *American Society for Testing and Materials* – ASTM: “É um produto composto de pedaços miúdos de madeira ou outros materiais ligno-celulósicos que são unidos por adesivos de resina sintética em presença de calor e pressão”. Definição semelhante é encontrada no Glossário Mobiliário e Madeira: “Material obtido pela aglutinação de fibras ou partículas de madeira, ligadas com resinas sintéticas, com formato de chapa por efeito de pressão e calor”. (SENAI. RS, 1994). Pode-se considerar ainda a definição encontrada no Quick and Easy: “Placa obtida pela prensagem de mistura de madeira fragmentada e outros materiais celulósicos, termo genérico usado para material manufaturado de madeira e adesivo sintético” (TENÓRIO, 1997).

Normas técnicas de outros países como *Deutsche Industrie Normen* (DIN) da Alemanha, *British Standart Institute* (BSI) da Inglaterra e *Association Française de Normalisation* - AFNOR da França, definem madeira aglomerada de maneira muito semelhante às descritas no parágrafo acima.

Madeira aglomerada é madeira transformada graças à elevada tecnologia que conserva no produto as boas qualidades da madeira natural. Ela pode ser considerada como uma das mais bem sucedidas substitutas da madeira maciça sendo inferior apenas ao MDF - *Médium Density Fiberboard* para algumas aplicações.

A madeira aglomerada é formada basicamente de madeira e adesivo, que também é denominado de aglomerante. Partículas de madeira natural são obtidas de espécies vegetais, no caso brasileiro, *Pinus spp* e *Eucalyptus spp*. O adesivo geralmente empregado, é uma resina sintética de base uréia-formaldeído. Para a produção de alguns tipos especiais de madeira aglomerada, são usadas resinas de base fenol-formaldeído, melamina-formaldeído ou uréia-formaldeído-melamina.

A madeira aglomerada pode ser produzida com uma, duas ou três, ou ainda com múltiplas camadas. A forma mais utilizada é com três camadas. As camadas externas são mais duras, mais densas, lisas e de espessuras iguais. A camada interna é produzida intencionalmente com maior porosidade a fim de absorver as tensões, sem que o complexo seja afetado. O equilíbrio das chapas é obtido pelas camadas externas, entre as quais as partículas interiores

realizam seus micros movimentos, sem afetar as superfícies. As camadas externas possuem a propriedade de isolar a camada interna da umidade do ambiente, dando menor valor as possíveis variações da mesma. Assim, dentro de certas limitações e obedecendo às instruções técnicas de uso, a estabilidade dos painéis ou componentes dos móveis fica assegurada. Há pelo menos outros dois tipos de chapas de madeira que seguem processo semelhante ao da chapa de madeira aglomerada: OSB - *Oriented Structural Boards* e o MDF - *Medium Density Fiberboard*.

Conforme o processo de fabricação usa-se prensa de um ou vários pratos. Há ainda outro processo de fabricação que é o de calandragem de ciclo contínuo, para a produção de chapas de aglomerado de espessuras mais finas, adequadas para costas de armários, fundos de gavetas ou embalagens.

A madeira aglomerada é produzida em várias dimensões e espessuras adequadas ao mercado consumidor. A chapa pode ser encontrada no estado natural, conhecida como chapa crua; revestida com lâminas de madeira natural; com melamina (BP); com *Finish Foil* (FF); com base para impressão ou para pintura (CENTRO, 2002).

A madeira aglomerada pode ser produzida com densidades que podem variar de 250 kg/m<sup>3</sup> a 1.200 kg/m<sup>3</sup>. A densidade mais utilizada pela indústria moveleira varia de 400 kg/m<sup>3</sup> a 800 kg/m<sup>3</sup>.

A qualidade da sua produção não depende só de máquinas e de equipes técnicas. Depende fundamentalmente das matérias-primas, madeira e aglomerante e, obviamente, do processo tecnológico.

## 5 MADEIRA NATURAL

A madeira, “produto proveniente do lenho de vegetais superiores” (SENAI, RS, 1994). “Lenho, (alburno e cerne), é um corpo poroso composto de células que consiste de paredes de células e de espaço oco entre as mesmas” (GONÇALVES, 2000). Para a produção de partículas, em princípio, servem todas as espécies vegetais. É fundamental que se possa cortá-las na forma plana e que sejam compatíveis com os adesivos usados. (CARNOS, 1988).

No Brasil as espécies mais utilizadas são o *Pinus spp* e o *Eucalyptus spp*, embora possam ser utilizadas outras espécies como a acácia e a bracatinga. Podem ser utilizadas puras ou misturadas entre si, em porções determinadas. As partículas de madeira formam cerca de 90% da massa das chapas de madeira aglomerada.

## 6 AGLOMERANTES

A resistência das chapas de madeira aglomerada depende essencialmente da qualidade e da quantidade do aglomerante usado. Os pontos de colagem são sempre os locais mais fracos das chapas e vulneráveis a cargas mecânicas e climáticas. O volume de resina sólida para a fabricação das chapas varia de 7 a 10%. Trata-se de um valor relativamente pequeno se for considerado que o aumento do consumo do aglomerante beneficia seguramente valores importantes como resistência e proteção contra inchamento.

## 7 DESINTEGRAÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA

O Wilhelm-Klauditz-Institut Braunschweig - WKI (Alemanha) desenvolveu um processo de desintegração da chapa de aglomerado e de MDF, que é possível retorná-los a forma de cavacos. São separadas as fibras e as lâminas que recobrem a chapa, como também dobradiças e parafusos. O processo considera que a resina de *aminoplast* utilizada para a

fabricação do painel é de fácil hidrólise mediante controle de calor, pressão e pH. Pode ser descrito como um multi-estágio semi-seco ou *cheno-termo-mecânico*.

O processo pode ser feito com tecnologia disponível, através do uso de um desintegrador que foi desenvolvido com total segurança para recuperar cavacos com alta taxa de aproveitamento e de ciclo curto.

O quebrador estático, FIG. 3, mostra um modelo para todos os tipos de resíduos de madeira, retalhos de chapas de aglomerado, inclusive vigas, estrados e dormentes, para posterior reaproveitamento dos resíduos de madeira.



FIG. 3 - Quebrador estático  
Fonte; Wilhelm-Klauditz-Institut, 2004.

Primeiramente as chapas são quebradas em pedaços que variam de 15 a 20 cm de comprimento. Isto pode facilmente ser feito. Pode-se utilizar uma espécie de britador giratório para quebrar as chapas e refugos das fábricas de móveis provenientes de cortes de serra. Os pedaços podem ser maiores, porém nunca muito menores, pois pedaços muito pequenos tendem a destruir os cavacos e o revestimento que alguns painéis possuem. Também se deve levar em conta que já há cavacos encurtados nas extremidades dos painéis e em parte pelo rompimento na hora de transformar em pedaços (Wilhelm-Klauditz-Institut, 1997). Ver FIG. 4.



FIG. 4 - Material pré-quebrado para tratamento posterior  
Fonte: Wilhelm-Klauditz-Institut, 2004.

Os pedaços de chapas são colocados em uma autoclave. A madeira é saturada com a impregnação de uma substância líquida composta de água, formaldeído, e outras substâncias químicas que ligam com a uréia e quantias pequenas de ácido sulfúrico para diminuir o pH. A

substância líquida que não ficou impregnada após uns 10 minutos, é reutilizada no próximo ciclo.

Para alcançar a desintegração, é necessário que os pedaços de painel absorvam aproximadamente 70% do seu próprio peso da solução de impregnação. A impregnação pode ser aumentada pelo aumento da temperatura do líquido de impregnação.

O material é aquecido a uma temperatura próxima de 110°C durante aproximadamente 20 minutos, removendo a solução de impregnação em excesso. A resina é essencialmente destruída no interior da autoclave com o inchamento dos cavacos de madeira que, ao aumentar de volume, rompem o adesivo. A lâmina de madeira, as dobradiças e os parafusos são separados. Os pedaços de madeira maciça são associados aos cavacos. O recipiente de pressão pode ser aberto e esvaziado a cada ciclo de desintegração. O líquido, vapor, que sai da autoclave é condensado e retorna para o recipiente de solução líquida que é adicionado no início juntamente com os pedaços de aglomerado, no interior da autoclave, fazendo com que a emissão no ambiente seja reduzida ao máximo. Este processo está descrito esquematicamente na FIG. 5.

O material desintegrado deve ser colocado sobre uma esteira ou peneira, ou um tambor giratório em forma de peneira. Esta etapa permite separar os cavacos pelo tamanho e também separar outros materiais que estavam no painel, como parafusos, pregos, dobradiças, revestimentos, etc. Neste processo não são desintegrados painéis com fenóis ou isocianatos (resistentes à água). Eles podem ser separados depois das peneiras e podem ser lascados e inseridos no processo de produção de algum outro tipo de painel. Eles também poderiam ser queimados juntamente com os revestimentos, no caso, as lâminas de madeira, assim contribuiriam para a produção de energia necessária para o aquecimento do processo de desintegração.

A desintegração de painéis de aglomerado e MDF, em forma de cavacos e fibras, se torna interessante quando é levada em conta a baixa percentagem de massa dos revestimentos comparados com a massa dos painéis. Por exemplo: ao desintegrar um painel com 16 mm de espessura, 95% da totalidade da massa seca desintegrada são fibras ou cavacos. Os 5% restantes são de lâminas de madeira. Já painéis com revestimento em FF (*Finish Foil*), a massa deste é menor que 3%. Quando são desintegrados painéis com madeira compensada, o percentual é de 7% a mais de massa de madeira, pois o compensado é constituído de lâminas ou de sarrafos de madeira maciça.

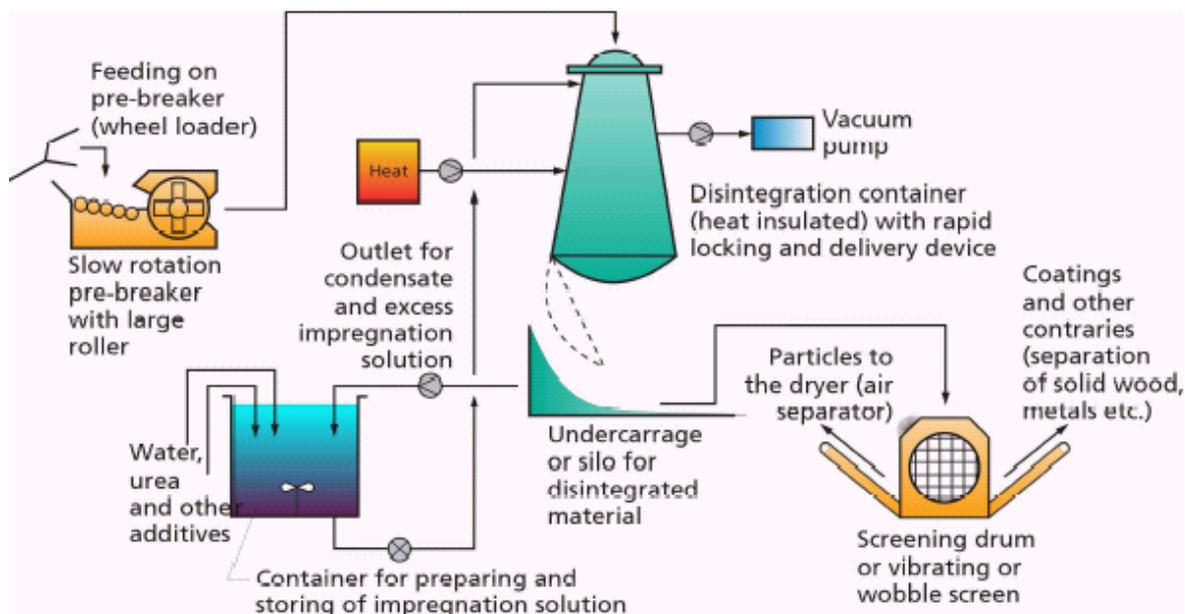


FIG. 5 - Processo da WKI para desintegrar retalhos de chapas de aglomerado  
 Fonte: Wilhelm-Klauditz-Institut Braunschweig, 1997.

A primeira planta industrial para recuperação dos resíduos de aglomerado e MDF iniciou em 1996, depois de aproximadamente um ano de experiências. A transferência do laboratório do projeto era disputada por duas empresas fabricantes de aglomerado na Alemanha e também por fabricantes de móveis que estavam muito ligados a WKI. Assim, havia duas possibilidades de começo em duas companhias diferentes. As empresas tiveram muito êxito no projeto, pois as experiências de laboratório foram plenamente confirmadas.

As duas companhias começaram com uma unidade de desintegração com uma capacidade de 25 m<sup>3</sup> totalizando cerca de 6,5 toneladas de retalhos de aglomerado. O tempo para um ciclo de desintegração demora entre 90 e 120 minutos, estando diretamente relacionada à capacidade de inserção de vapor no interior da câmara. Com um desintegrador com esta capacidade é possível utilizar cerca de 25.000 toneladas de resíduos por ano.

Para aumentar a capacidade de produção de cavacos, as empresas recuperadoras de chapas de aglomerado, projetaram e instalaram um desintegrador adicional. Esta construção fez com que a produção aumentasse, superando todas as expectativas com referência ao projeto inicial.

Aproximadamente seis meses depois foi decidido instalar uma segunda unidade de desintegração em ambas as plantas. Hoje, depois da duplicação, ambas as plantas têm uma capacidade de reciclar mais de 50.000 toneladas de material seco. Ver FIG. 6.



FIG. 6 - Equipamentos da WKI para desintegrar retalhos de chapas de aglomerado  
Fonte: Wilhelm-Klauditz-Institut Braunschweig, 2004.

O grupo comprovou que é vantajoso o processo se comparado a uma produção contínua, pois o processo contínuo é mais caro e difícil. O processo desenvolvido comporta-se bem, é mais fácil para ser operado, necessitando apenas de uma pessoa.

Hoje, há duas plantas adicionais na fase de planejamento. Uma para a Bélgica e outra para os EUA. Ambas reciclarão principalmente aglomerado revestido. Geralmente há três tipos de demandas para estes projetos. Primeiro, há interesse por plantas com capacidade para 20.000 toneladas ano. Segundo, para plantas médias com capacidade para 60.000 toneladas ano. Por fim, há o interesse de companhias diferentes que desejam plantas pequenas, com capacidade para 5 a 7 mil toneladas ano. Estas últimas são de fácil operação e não são automatizadas.

## **8 PRODUÇÃO DA CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA**

A madeira maciça, de *Pinus spp* ou *Eucalyptus spp* é pré-cortada em toras, descascada pelo comprimento e em diâmetros determinados e, depois, é depositada em pilhas no pátio da fábrica de aglomerado para aclimação. Através de esteiras, os troncos são transportados para os picadores que produzem os cavacos.

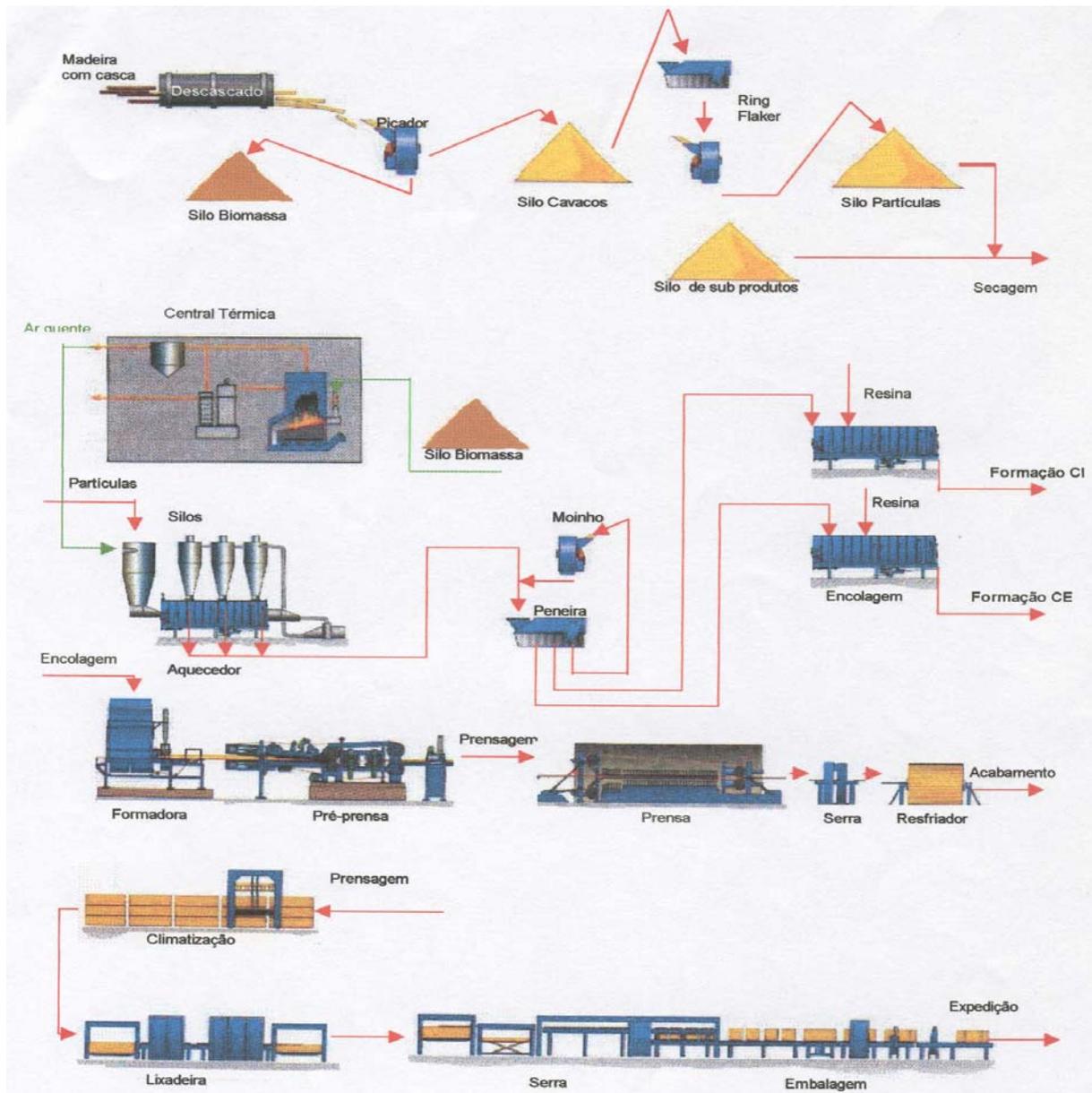


FIG. 7 - Equipamentos da WKI para desintegrar retalhos de chapas de aglomerado

Fonte: CARNOS, 1998.

Todo o processo é desenvolvido em duas linhas paralelas (FIG. 7): uma desenvolve a formação das camadas externas e outra, a formação da camada central. Dos picadores os cavacos são transportados aos silos úmidos. Destes depósitos, os cavacos são levados aos secadores, direcionados ao classificador de partículas, onde se processa a seleção destas. Em seqüência o material é encaminhado aos moinhos que refinam as partículas de madeira, dando-lhes dimensões definidas para a formação das camadas externas e internas dos colchões. As dimensões das partículas externas são menores do que as destinadas à formação da camada central. No passo seguinte, as partículas seguem para os silos secos. Estes alimentam as encoladeiras. Cada linha recebe sua formulação de aglomerante sob rigoroso controle do laboratório da produção. As encoladeiras recebem os aditivos, quando necessário. As partículas, devidamente impregnadas de cola seguem para as máquinas de formação onde são montados os colchões. Antes de chegarem à prensa, os colchões sofrem um controle de peso. Os colchões seguindo as dimensões padrão, são encaminhados para a

prensa onde recebem alta pressão e elevada temperatura, transformando-se em chapas. As espessuras são delimitadas por espaçadores que previamente são colocados nos pratos da prensa. Da prensa as chapas seguem para o setor de resfriamento. Em seguida as chapas são serradas nas medidas definitivas. O passo seguinte é o empilhamento cuidadoso, onde as chapas permanecem pelo período mínimo de 72 horas, para acondicionamento. Encerrada esta etapa, as chapas estão prontas para serem lixadas, geralmente, elas passam por dois lixamentos. No primeiro, a chapa é calibrada na espessura definida. Na segunda operação é feito o acabamento com grana de lixa, mais fina que a primeira. Após o lixamento, cada chapa é inspecionada visualmente. Chapas defeituosas são separadas e servem como embalagem das chapas boas. As chapas boas são encaminhadas para o depósito, posteriormente para a expedição e, em seguida, para as fábricas de móveis ou para os distribuidores (CARNOS, 1988).

## **9 ADESIVOS E ADITIVOS**

### **9.1 Adesivos**

O uso de adesivos pelo homem tem registros de mais de dois mil anos a.C. Informações dizem que os egípcios foram um dos primeiros povos a usarem adesivos. Eles empregavam a goma arábica retirada de essências florestais e, resinas de algumas árvores, bem como do ovo e da borracha. Uma cola feita com pasta de farinha foi usada para confeccionar os primeiros papiros compostos por lâminas finas, justapostas e coladas.

Até o início do século XX houve pouca evolução no estudo dos adesivos. Até a primeira guerra mundial, predominavam os adesivos à base de proteínas animais. Após a Primeira Guerra começaram a surgir novos tipos de adesivos com características de serem empregados à temperatura ambiente e com certa resistência à água. Esses adesivos são empregados até hoje em vários países, na colagem de peças estruturais de madeira para uso interno. Também foram criados adesivos à base de albumina sanguínea com elevada resistência à ação da água, porém com cura a quente.

Por volta de 1930, começou a ser empregada em escala industrial a primeira resina sintética à base de fenolformaldeído. Nesta mesma época também começou a ser empregado o adesivo à base de uréia-formaldeído, na produção de móveis e madeira compensada para uso interno. Este adesivo à base de uréia apresentava pouca resistência à água quando comparado às resinas fenólicas, entretanto, a cura era processada em temperatura mais baixa e menor custo.

Após a Segunda Guerra Mundial, novos adesivos foram desenvolvidos, podendo destacar o resorcinolformaldeído, com custo maior que os citados anteriormente, porém com cura à temperatura ambiente e maior resistência à água. Também surgiram os primeiros adesivos poliuretanos e as emulsões de acetato de polivinila começaram a substituir adesivos à base de proteína animal.

O estudo de química das macromoléculas com melhores características quanto ao seu desempenho como adesivo, possibilitou grande expansão das indústrias de adesivos à base de resinas vinílicas, poliéster, poliuretanas, entre outras e as aplicações de colagem com várias finalidades. Durante a redução da espessura de um colchão de fibras, estas se orientam, preferencialmente, no sentido horizontal ao plano do painel, resultando em uma considerável pressão das fibras, umas sobre as outras, provocando amplo contato entre as paredes destas fibras e a resina.

O surgimento dos adesivos sintéticos impulsionou, notoriamente, a indústria de painéis à base de madeira. A partir de 1930, a disponibilidade de resinas líquidas à base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído permitiu a fabricação de painéis de melhora qualidade.

Os principais adesivos empregados na fabricação de painéis à base de madeira são os adesivos sintéticos, destacando-se o fenol-formaldeído, o resorcinol-formaldeído, a uréia-formaldeído e a melamina-formaldeído. Estas quatro resinas compõem, aproximadamente, 90% de todas as resinas adesivas em painéis de madeira, sendo todas elas derivados de combustíveis fósseis. O fenol e o resorcinol são derivados do benzeno, que é sintetizado a óleo, e a uréia, a melamina e o formaldeído são todos derivados do petróleo. Apresentam como principais propriedades sua resistência à umidade e imunidade ao ataque de microorganismos. Devido a estas propriedades, essas resinas são amplamente empregadas na indústria madeireira. Os adesivos sintéticos geralmente são classificados de acordo com sua termoestabilidade.

Um adesivo termo-estável pode ser definido como aquele que possui capacidade de se solidificar através de reações químicas ativadas por calor ou catalisadores, resultando em uma colagem resistente a umidade e calor. E um “adesivo termo-plástico é aquele capaz de ser, repentinamente, amolecido por aquecimento e endurecido por resfriamento”. A classe dos adesivos termoestáveis é representada, principalmente, pelas resinas de origem fenólica (CAMPOS; LAHR, 2004).

### 9.1.1 Classificação dos adesivos

Os adesivos podem ser classificados a partir de diferentes parâmetros como: origem dos componentes primários, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química, entre outros. Neste trabalho, a classificação será feita a partir da composição química do adesivo, podendo os mesmos ser inorgânicos ou orgânicos.

- Adesivos inorgânicos

Dentre os adesivos inorgânicos mais comuns podem ser destacados os que são à base de silicatos, produzindo ligações com elevada resistência mecânica, sendo difícil a diferenciação entre o adesivo e o cimento. Nos adesivos inorgânicos a ligação acontece pela desidratação do solvente dos adesivos. Os cimentos são formados através de reações químicas.

- Adesivos orgânicos

Em geral, costuma-se dividir os adesivos orgânicos em dois grupos: sintéticos e naturais. Os adesivos orgânicos sintéticos são os mais empregados pela indústria madeireira devido à sua grande resistência à água e, por não permitir ação de microrganismos. Os adesivos sintéticos são classificados em termofixos e termoplásticos.

- Adesivos termofixos

Adesivos que endurecem por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores. São resistentes a umidade e ao calor. Dentre os principais adesivos pode-se destacar: fenolformaldeído, uréia-formaldeído, resorcinol formaldeído e os poliuretanos.

- Adesivos termoplásticos

Apresentam como característica principal a sua cura reversível. Podem ser difundidos ou amolecidos quando é aumentada a temperatura, tornando a solidificar ao serem resfriados. São usados como solução ou em dispersão em água. Os adesivos naturais são obtidos de proteínas animais e vegetais, tanino, celulose, gomas naturais e amidos, entre outros.

### 9.1.2 Adesivos empregados na fabricação de chapas de aglomerado

O emprego de adesivos sob pressão e temperatura permite a fabricação de chapas com larguras superiores ao diâmetro da árvore que fornece a matéria-prima. A fabricação de painéis à base de madeira, além de praticamente eliminar as limitações de tamanho, permite o aumento da resistência lateral (eixo transversal), através da disposição das lâminas na fabricação do compensado, ou através da orientação das fibras e partículas na produção de chapas de fibra e chapas de madeira aglomerada, contribuindo significativamente para diminuir os efeitos da anisotropia da madeira.

Para a fabricação do aglomerado, as resinas naturais existentes na madeira não são suficientes para agregar as fibras. Então, faz-se necessário adicionar algum tipo de elemento ligante. A adesão entre as fibras da madeira e o adesivo depende de interação físico-química. Os adesivos realizam três fases distintas durante o processo de ligação. Inicialmente o adesivo deve umedecer as fibras; em seguida, deve fluir de modo controlado durante a prensagem e, finalmente, adquirir forma sólida. Se ocorrerem falhas em algumas destas etapas, certamente a qualidade da colagem será afetada. Uma ótima ligação requer íntimo contato entre o adesivo e a fibra. Isto é realizado usando pressão e temperatura, ajustando também a viscosidade do adesivo, transferindo o fluxo através dos pontos de ligação, enquanto acomoda-se a madeira para conseguir melhor contato na superfície.

Os principais adesivos empregados na produção de aglomerado são: uréia-formaldeído e melamina-formaldeído. Os adesivos à base de uréia-formaldeído podem ser formulados para curar à temperatura ambiente (20°C) ou para aquecimento através de prensas quentes a temperaturas que ultrapassam 160°C. O uso de extensores à base de farinha de cereais, juntamente com a resina, realiza colagens perfeitas. A farinha e o excesso de cola retardam a velocidade de cura da cola e, para compensar este fenômeno, adiciona-se à mistura um catalisador. Existem vários tipos de catalisadores adaptáveis às condições específicas do emprego. Para prensagem a frio existe um tipo, enquanto para prensagem à quente utiliza-se outro tipo de catalisador. O adesivo uréia-formaldeído apresenta coloração clara. Possui como desvantagem a liberação de formaldeído na prensagem a quente, e vem sendo muito combatido pelo órgão de controle ambiental, porque o formaldeído é altamente tóxico. Já os adesivos à base de melamina-formaldeído são normalmente do tipo de cura à quente (115°C a 160°C), similar à uréia-formaldeído. A emissão de formaldeído é causada pelo excesso de formaldeído liberado pelos adesivos.

A liberação ocorre pela quebra das ligações na resina devido a grande exposição à umidade. Devido aos processos de produção, o custo da resina melamina é bem mais alto que a resina de uréia. Basicamente, as reações de condensação da uréia e da melamina são iguais. Também a reação melamina-formaldeído, interrompe-se por meio de neutralização quando os produtos de condensação ainda estão suficientemente solúveis em água. (CAMPOS e LAHR, 2004). As resinas melamínicas são comercializadas sob a forma de pó, porque em soluções aquosas a sua vida útil é curta. A cura, ao contrário das resinas uréia-formaldeído, pode ser efetuada sem catalisadores ácidos, mas simplesmente através do calor. Possui algumas vantagens como: maior resistência à água, possibilidade de cura sem catalisador. E como desvantagens: alto custo de produção, pequena vida útil em solução aquosa e impossibilidade de prensagem a frio.

Ginzel e Peraza (1966) afirmam que, na fabricação de chapas aglomeradas de madeira, a cola tem uma importância extraordinária devido ao seu elevado preço, se for comparado com o da madeira.

Os principais adesivos comercialmente empregados na indústria de madeira aglomerada são aqueles de origem sintética e que apresentam a propriedade de se tornar termorrígidos pela ação do calor ou de catalisadores específicos. Assim, são amplamente empregados com esse

propósito ou adesivos de fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e isocianatos com extensores ou cargas (MALONEY, 1989; KOLLMAN, 1975; USDA, 1999 apud SENAI. RS, 2003). Outros adesivos interessantes são a melamina-formaldeído e o poliisocianato, porém pouco utilizados (MALONEY, 1989 apud SENAI. RS, 2003), e o tanino-formaldeído que possui boa resistência à água, estando em uma posição intermediária entre as colas uréicas e as colas fenólicas (HILLIG, 2000).

A uréia-formaldeído (UF) é tipicamente usada na fabricação de produtos nas quais a uniformidade dimensional e a suavidade da superfície são uma preocupação primária. Os produtos fabricados com a resina de UF são projetados para aplicação em interiores. A cor clara dessa resina a torna totalmente satisfatória para a fabricação de produtos decorativos (USDA, 1999).

Segundo Vignote et al. (1996 apud SENAI. RS, 2003), as colas utilizadas na fabricação das chapas contêm formaldeído em excesso. Os problemas causados pelo uso de formaldeído variam de problemas de irritação até cancerígenos em concentrações a partir de 0,33 mg/m<sup>3</sup> (VIGNOTE, 1996; MCREDIE, 1992 apud SENAI. RS, 2003).

## 9.2 Aditivos

O elemento aditivo mais utilizado é uma emulsão de cera de parafina que está incorporada na chapa por muitos fabricantes, como um retardante da absorção de água (GINZEL; PERAZA, 1996).

Brito (1995 apud SENAI. RS, 2003) observou, no seu trabalho, que o efeito de parafina, numa proporção de 0% a 1%, foi significativo na redução e absorção de água e no inchamento em espessura, tanto em 2 horas como em 24 horas de imersão.

Outros elementos aditivos que podem ser considerados são os inseticidas, os fungicidas e as substâncias químicas retardantes de fogo (AKERS, 1966; ROQUE, 1998, USDA, 1999 apud SENAI. RS, 2003).

Peixoto e Brito (2000 apud SENAI. RS, 2003), utilizando-se de *Pinus taeda*, observaram que as chapas aglomeradas, feitas com partículas e tamanhos menores, tiveram uma força de ligação interna mais alta, enquanto que as de partículas maiores aumentaram as propriedades de flexão. Os autores afirmam que um fator importante a ser observado é que, no Brasil, os estudos sobre a melhor granulometria de partículas para a produção de chapa de *Pinus spp* não têm recebido a importância devida. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que as fábricas utilizam madeira de *Pinus spp* em toras e não resíduos de madeira, e também porque as tecnologias empregadas são importadas.

## 10 RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO PARA CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA

A resina utilizada por grande parte dos fabricantes brasileiros de chapas de aglomerado é produzida pela SYNTEKO. A resina de uréia-formaldeído é comercializada na forma líquida solúvel em água.

### 10.1 Aplicação da resina

Embora existam resinas com variadas relações molares, elas têm uma boa tolerância à água e, por isso, podem ser usadas, com grande quantidade de água, extensores, emulsão de parafina ou outros aditivos. É bem reativa, se comparada com outras resinas de (UF) uréia-formol e tem ótima vida útil.

As resinas UF têm bom desempenho com diferentes temperaturas de prensa (160 a 200°C), quantidade de catalisador, tempo de prensa e capacidade de tamponamento da madeira. Não

é muito sensível à porcentagem de catalisador adicionado, que poderá ser notado no tempo de gel. Quando a resina uréia-formaldeído (RUF) é usada, a variação da quantidade de catalisador não afeta significativamente as propriedades da chapa. Isto é uma vantagem, desde que sejam freqüentemente ajustados os níveis de catalisador, por causa das variações de parâmetros industriais, bem como a capacidade tampão da madeira, temperatura ambiente, etc.

## 10.2 Formol livre

O uso da RUF pode produzir aglomerado: classe E1, classe E2 e classe E3, dependendo da relação molar da resina UF, das condições de prensagem bem como do mix de cola.

## 10.3 Reatividade

A dosagem ideal de catalisador aplicado depende da mistura da cola, espécie de madeira usada, das condições de prensagem, do ambiente e temperatura dos cavacos. O Quadro 5, mostra um exemplo de curvas de reatividade de uma RUF com Reatividade Média (RM) de 1:1,22, com dois catalisadores padrão (SINTEKO, 2004).

Quadro 5 - Curvas de reatividade

Catalisador (%)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Gel time (s)	NH <sub>4</sub> CL	310	283	280	274	276
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	428	368	359	343	340

Fonte: SINTEKO, 2004.

Quadro 6 - Tempo de vida da RUF AA1801 a 40°C

Catalisador (%)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Gel time (s)	NH <sub>4</sub> CL	145	140	135	134	130
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	145	135	133	130	130

Fonte: SINTEKO, 2004.

Quadro 7 - Tempo de vida da RUF AA1801 a 70°C

Catalisador (%)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Gel time (s)	NH <sub>4</sub> Cl	77	58	53	50	50
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	85	65	60	58	58

Fonte: SINTEKO, 2004.

O tempo que o adesivo permanece em condições de uso após a mistura é denominado *vida útil*. O período de tempo entre a aplicação da cola nos cavacos até a entrada do material na prensa deve ser de dois terços da vida útil e isto é altamente dependente da temperatura dos cavacos ou fibras. Por exemplo: a vida útil de uma RUF com 1:1,22 a 70 e a 40°C está representada nos Quadros 6 e 7.

## 10.4 Toxicidade e manuseio

Como todas as resinas convencionais de UF são compostas de uréia e formol, o produto final é inerte porque os componentes estão em uma fórmula quimicamente limitada. O principal risco de uma uréia-formol é a emissão de formol livre gerada pela hidrólise da resina. Há resinas com alta, média e baixa emissão de formol. Porém, não é permitida a descarga dos resíduos na rede de esgoto ou drenagem. A resina UF, não deve entrar em contato com os olhos e pele. A resina UF pode ser facilmente removida com água quente a 30 – 40°C preferencialmente.

## 10.5 Armazenamento

A resina UF pode ser armazenada por aproximadamente um mês, desde que tenha temperatura média entre 20 a 25°C. Em baixas temperaturas (aproximadamente 0°C), ela é bem estável, mas a viscosidade aumenta bastante, criando problemas de bombeamento e tornando difícil o manuseio da mesma. Quando reaquecida (acima de 15°C) ela se torna usável. Em altas temperaturas sua vida útil é reduzida. Se o ambiente tiver temperaturas extremas, é recomendado o isolamento térmico dos tanques ou uso de trocador de calor.

## 11 COLAGEM NA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA

No processo de colagem, o adesivo deve umedecer os cavacos grossos e finos. Em seguida, deve fluir de modo controlado durante a prensagem e, finalmente, adquirir forma sólida. Uma ótima ligação requer íntimo contato entre o adesivo e o cavaco. Isto é realizado usando pressão e aquecimento, ajustando a viscosidade do adesivo, transferindo fluxo através dos pontos de ligação, enquanto deforma a madeira para conseguir melhor contato na superfície. A colagem ou adesão pode ser entendida como um fenômeno que provê um mecanismo de transferência de tensões entre a madeira e a resina, através de processos moleculares.

Essencialmente, um adesivo necessita aderir (ligar-se) à superfície de um sólido, possuir força de coesão adequada. As principais teorias de adesão podem ser classificadas de uma forma geral em:

- Teoria mecânica: o mecanismo de adesão se daria através de enganchamento (“interlocking”) mecânico. A fluidez e penetração do adesivo em substratos porosos levariam à formação de ganchos fortemente presos ao substrato após solidificação deste.
- Teoria da difusão de polímeros: a adesão se daria através da difusão de segmentos de cadeias de polímeros. As forças de adesão podem ser visualizadas como as mesmas produzidas na adesão mecânica, só que agora em nível molecular. No entanto, as aplicações desta teoria também são limitadas. A mobilidade de longas cadeias de polímeros é bastante restrita, limitando severamente a interpenetração molecular proposta nesta teoria.
- Teoria de adesão química: a adesão se daria através de ligações primárias (iônicas, covalentes, coordenadas e metálicas) e/ou através das forças secundárias intermoleculares (forças de Kaeson, Debye e London). Acredita-se, atualmente, que a adesão na interface, do ponto de vista molecular, deve-se à ação das forças secundárias, com exceção de casos específicos. A adesão ocasionada por forças secundárias intermoleculares é também conhecida por “Adesão Específica”. Independente das teorias envolvidas na adesão pode-se dizer que o desenvolvimento de uma boa colagem depende essencialmente de três requisitos:
  - a) adequado umedecimento proporcionado pelo adesivo líquido;
  - b) solidificação do adesivo líquido;
  - c) suficiente capacidade de modificação da forma por parte do adesivo já solidificado (SENAI RS, 2003).

Durante o processo de colagem, pode-se atribuir ao adesivo as seguintes funções de movimento e mobilidade:

- Fluidez: refere-se ao escoamento da massa líquida do adesivo no plano da superfície do substrato;
- Transferência: refere-se ao movimento pelo qual o adesivo se transfere para o substrato;

- Penetração: movimento do adesivo no sentido de penetrar a estrutura capilar e porosa do substrato;
- Umedecimento: movimento do adesivo no sentido de recobrir a estrutura submicroscópica do substrato, adquirindo maior proximidade e contato molecular;
- Solidificação: movimentos envolvidos na mudança do estado líquido, incluindo a migração/evaporação do solvente, orientação molecular, polimerização e “cross-linking”. Conforme a teoria química da adesão, as ligações ou colagens resultam das atrações químicas e elétricas entre o adesivo e o substrato, quando se consegue suficiente proximidade entre suas estruturas atômicas e moleculares (SENAI RS, 2003).
- A formação de uma colagem adequada e seu desempenho depende de uma série de parâmetros relacionados às características físico-químicas do adesivo, características do substrato (material a ser colado), procedimentos de colagem e as condições da matéria-prima a ser utilizada. Segundo Kollman (apud SENAI RS, 2003) algumas das principais características da madeira que afetam a adesão e colagem estão apresentadas de forma detalhada a seguir.
- Variabilidade: as maiores variações acontecem entre espécies, sendo que algumas delas apresentam maior facilidade de colagem que outras. A natureza biológica da madeira causa adicionalmente amplas variações (CAMPOS e LAHR, 2004), entre árvores de uma mesma espécie, e mesmo no material de uma mesma árvore. Esta variabilidade atinge uma série de propriedades (peso específico, textura, permeabilidade, etc.), que por sua vez são definidas no processo de adesão e na performance da colagem.
- Densidade: colagens feitas em madeiras de densidade mais alta degradam-se mais rapidamente do que as efetuadas em madeiras de mais baixa densidade. Madeiras mais densas normalmente possuem maior resistência mecânica. A densidade da espécie está diretamente relacionada com a sua porosidade e permeabilidade, influenciando assim o grau de rugosidade e as funções de mobilidade fatores determinantes na formação da ligação adesivo-substrato.
- Porosidade e permeabilidade: o tamanho, a disposição e a frequência de cavidades celulares e poros na estrutura da madeira afetam diretamente a penetração do adesivo. As interações da porosidade e permeabilidade com a migração do solvente também interferem na viscosidade da resina, afetando suas funções de mobilidade, o que acarreta mudanças na qualidade da colagem, ocorrendo mais ou menos vazios.
- Capacidade tampão e pH: a maior parte das espécies de madeira apresenta pH ácido. As variações de pH e a capacidade tampão afetam diretamente a cura e a solidificação do adesivo, uma vez que estes processos ocorrem somente em faixas relativamente estreitas de pH.
- Conteúdo de umidade: na colagem com os tradicionais adesivos sintéticos à base de uréia, melamina, fenol e resorcinol é imprescindível que a madeira seja previamente seca até teores de umidade normalmente entre 5% e 20%. Teores de umidade mais altos podem ocasionar formação de bolhas.

## 12 FORMALDEÍDO

### 12.1 A importância do formaldeído

Na maioria dos congressos internacionais sobre madeira aglomerada, o tema principal é o formaldeído. Para os fabricantes de móveis, é apenas mais um produto químico. Na verdade, é um ingrediente indispensável para a fabricação de milhares de produtos industriais e domésticos.

As aplicações de derivados do formaldeído na indústria do mobiliário incluem as seguintes matérias-primas:

- Aglomerado, MDF, OSB, compensado sarrafeado e multilaminado;
- Revestimento de painéis com lâminas de madeira natural;
- Laminados plásticos decorativos.

Para o ser humano, formaldeído em concentrações acima de uma parte por milhão (ppm) produz irritação nos olhos, na pele e mucosas das vias respiratórias. Algumas pessoas são sensíveis a concentrações muito mais baixas, mas isto não é considerado normal.

Há alguns anos, pesquisas nos EUA mostraram que ratos expostos a altas concentrações (15 e 16 ppm) de formaldeído durante dois anos desenvolveram uma forma de câncer nasal. A relevância destes resultados, baseados na exposição de animais a altas concentrações, para seres humanos intermitentemente expostos a concentrações muito mais baixas, tem sido muito discutida.

Desde a publicação da experiência com os ratos, algumas investigações epidemiológicas com seres humanos mostraram que a exposição a concentrações baixas de formaldeído não causou nenhum aumento significativo de risco de câncer, de nenhum tipo.

O ponto de vista da FIRA, (Laboratório de ensaios da Inglaterra) baseado num relatório publicado pela Organização Mundial da Saúde, a respeito da experiência realizada com ratos, é de que há concentrações de formaldeído abaixo do limite de lacrimejamento, cerca de 1ppm, onde seres humanos não correm riscos manuseando, usando ou morando com produtos capazes de emitir pequenas quantidades de formaldeído gasoso. Algumas organizações na Europa e América do Norte, entretanto, adotam posições mais rigorosas. A FIRA desenvolveu um método já patenteado (método DOMBEY), com um custo menor que o dos outros métodos de medição e emissão de formaldeído conhecidos.

Para a Comunidade Européia, em notícia vinculada no Jornal Oficial das Comunidades Européias, PT4.9.2002 L 236/4, uma decisão da comissão tomada em 3 de setembro de 2002, estabelece os critérios ecológicos revistos para atribuição do rótulo ecológico comunitário a tintas e vernizes para interiores e altera a Decisão 1999/10/CE, [notificada com o número C(2002) 3202] (Texto relevante para efeitos do EEE) (2002/739/CE). Formaldeído: o teor de formaldeído livre presente no produto não pode exceder 10 mg/kg. As fontes de formaldeído só podem ser acrescentadas em quantidades que garantam que o teor total de formaldeído livre resultante não excede os 10 mg/kg.

### 12.2 Método de teste

Há dois métodos principais internacionalmente adotados para a determinação de formaldeído. Um é para a determinação de teor de formaldeído livre ou extraível de painéis, normalmente aglomerado e MDF, e o outro é o teste da Câmara de Climatização, para avaliar a emissão.

Os dois métodos existem há mais de 20 anos. O primeiro é conhecido como *teste perfurador* (*perforator*), no qual o formaldeído livre é extraído de uma pequena amostra (aprox. 100g) com tolueno em ebulição e a seguir absorvido em água, que será seqüencialmente analisada por métodos químicos ou fotométricos para calcular o teor de formaldeído. O resultado é comumente reportado em miligramas por 100g de painel (peso seco), e é chamado o Valor *Perfurador*. O teste completo, incluindo preparação da amostra, resfriamento e análise final leva cerca de 6 horas. O valor do perfurador diz respeito apenas ao teor do formaldeído, e raramente dá uma boa indicação da razão na qual o produto é liberado de painéis expostos ao ar. A razão de emissão é função de outros fatores como temperatura, umidade relativa, densidade de painel, porosidade, estado da superfície, etc. Testes diretos de emissão estão, portanto, ganhando preferência sobre outros métodos (DOMBEY; SPARKES, 1988).

### 12.3 O método da FIRA

O método da FIRA é semelhante ao método da câmara, diferindo em escala, ventilação, versatilidade, velocidade e custos. O aparelho é montado sobre uma bancada, o tamanho da amostra é relativamente pequeno, e o formaldeído emitido é capturado e retido para quantificação, comumente por espectroscopia. O método mede a emissão de tintas, adesivos, laminados têxteis, etc. A duração do teste é entre uma e duas horas.

### 12.4 Liberação do formaldeído

Covat et al. (1968 apud SENAI. RS, 2003) estudaram os produtos de degradação das resinas de uréia-formaldeído sujeitas a pirólise e encontraram amônia bem como formaldeído como sendo produtos de degradação pirólica. Mais tarde anunciaram que amônia e formaldeído reagiram entre si, resultando em metilamina, dióxido de carbono e água. Contudo, se houve uma grande quantidade de amônia liberada do ligante de uréia-formaldeído de chapa de aglomerado e esta reagiu, subseqüentemente com formaldeído liberado, haveria então menos problemas devido ao odor de formaldeído associado com a chapa de aglomerado. Parece mais viável que sejam liberadas maiores quantidades de formaldeído a partir de grupos de metiol que não reagiram na resina tratada da amônia disponível para reagir com o formaldeído.

Wittman (1962) mostrou que a liberação de formaldeído a partir da chapa de aglomerado ligada com uréia-formaldeído aumentou sob condições úmidas e quentes. Noticiou um aumento de 40% na liberação de formaldeído a 80% de umidade relativa comparados com os 35% de umidade relativa a 70°C. Numa umidade relativa constante de 50%, a liberação de formaldeído foi de 210% , mais alto a 70°C do que a 50°C. Uma chapa de aglomerado que esteve em um depósito com pouca ventilação durante pouco tempo, pode emitir formaldeído que ficou induzido durante a operação de prensagem. Este formaldeído pode ser facilmente removido por estocagem adequada antes do uso. Uma vez que o problema do cheiro de formaldeído penetrou na chapa de aglomerado, é impossível determinar quais as fontes que causaram o problema. A única preocupação do consumidor é que a chapa de aglomerado libera vapores irritantes, deixando o cliente insatisfeito.

### 12.5 Método de análise

Kelly (apud SENAI. RS, 2003) utilizou dois métodos diferentes para medir qualitativamente o formaldeído liberado por chapas de aglomerado ligadas por uréia-formaldeído. Uma técnica é a micro-difusão usada por Dickstein (1962) e uma forma um pouco diferente, por Plath (1996 apud SENAI. RS, 2003). O outro consistiu de um estrato aquoso de chapa de aglomerado ensopada em água tratada, que foi injetado num cromatógrafo a gás.

O formaldeído liberado de chapa de aglomerado ligada com uréia-formaldeído é um problema que atinge a todos os envolvidos na fabricação de chapas de aglomerado. Pode ser significativamente reduzido, se todos os fabricantes de chapas de aglomerado exercessem

cuidados e garantissem que seu material tenha ficado em depósito o tempo adequado, antes do uso final. Os fabricantes poderiam também reduzir a liberação de formaldeído por tratamentos mais acabados de resina, com ciclos de prensagem adequados ou usando um nível de catalisador mais alto. Este passo aumentaria em muito os custos de produção da chapa de aglomerado e a maioria dos produtores relutam, compreensivelmente contra isso. Os fornecedores de resina, por outro lado, estão obrigados a desenvolver ativamente resinas de uréia-formaldeído melhoradas. Estas precisam amadurecer um ciclo de prensagem o mais curto possível, e ainda, um mínimo de grupos de metiol livres após o tratamento.

## 12.6 Classificação dos produtos conforme o formaldeído

Uma classificação arbitrária (européia) de painéis reconhece três categorias, de acordo com o teor de formaldeído livre (valor perfurador) ou valor da concentração de equilíbrio no teste da câmara.

Regulamentos em alguns países exigem, ou brevemente exigirão, que apenas a classe E1 pode ser utilizada para a produção de móveis, e estes regulamentos são estendidos para cobrir também produtos de outros materiais.

O valor do perfurador atual para painéis da classe E1 é de 10mg/100g de painel, e já há tentativas de reduzir este valor para 8 e possivelmente 6 ou 7mg/100g, peso seco. O limite de concentração de equilíbrio para produtos E1 no teste de câmara de grande escala (alemão, essencialmente) é de 0,01 ppm, o que é considerado (para fins de classificação) equivalente a cerca de 10mg/100g no teste de perfurador.

## 13 O MEIO AMBIENTE

Vânia Schneider et al. (2004), relaciona a integração das questões ambientais à estratégia de negócio decorrentes da visão da gestão ambiental como um diferencial competitivo e um fator de melhoria organizacional. É o momento da introdução da visão sistêmica às questões ambientais. As empresas com atuação responsável, diante das questões ambientais, preocupam-se em demonstrar sua postura à comunidade e ao mercado de maneira geral explorando o *ecomarketing*. A valorização da empresa cidadã e a valorização pelo mercado globalizado da gestão ambiental eclodem na emissão da Norma ISO 14001 do *International Organization for Standardization* (Sistema de Gestão Ambiental), com adesões em escala crescente por parte das empresas, antes mesmo de sua versão final em outubro de 1996. As outras normas da série, abrangendo temas ambientais diversos, dentre os quais o ciclo de vida do produto (do berço ao túmulo), remete à qualidade ambiental em produtos e serviços aplicáveis a qualquer tipo e parte de organizações.

O crescimento da atividade industrial aumenta a quantidade de resíduos e poluentes que está associada ao crescimento da demanda de produtos e serviços. Conseqüentemente têm levado ao desenvolvimento de novas tecnologias de processos produtivos, e também a novas técnicas administrativas voltadas ao gerenciamento dessas atividades atentas as questões ambientais.

O conceito de administração com qualidade total para o ambiente, insurge-se e concentra-se no contínuo aprimoramento dos processos empresariais a fim de atender plenamente às necessidades e as expectativas do cliente, num cenário em que a sobrevivência da empresa depende, em grande parte, de sua competência em atender aos requisitos da demanda de produtos e serviços com melhor aproveitamento no uso de seus recursos. Essa é uma visão interdependente da administração que se estende bem além das fronteiras da organização, ultrapassando a simples melhoria da qualidade final do processo, dando ênfase ao comportamento de longo prazo, em que a pesquisa e a análise das necessidades, desejos e tendências do mercado, de maneira inevitável, encontram-se cada vez mais globalizados. (SCHNEIDER et al., 2004).

Na medida em que a sociedade se conscientiza da necessidade de compartilhar o desenvolvimento econômico e a conservação e a proteção do meio ambiente, essa necessidade passa a integrar o rol de preocupações de qualquer organização, uma vez que seu mercado – como parte integrante da sociedade – está considerando esse aspecto como mais um dos fatores que fazem a diferença na competitividade. Sendo assim, políticas, formulações estratégicas, objetivos e metas, opções tecnológicas, bem como a rotina operacional, passam a considerar e a incorporar questões ambientais.

De acordo com Callembach et al. (1993), uma vez considerado esses aspectos, a inclusão da proteção ambiental dentre os objetivos da administração, amplia substancialmente todo o conceito de administração e leva a uma consciência que o trabalho de cada um é efetuado com menos prejuízo possível ao meio ambiente, à saúde pessoal e às oportunidades das gerações futuras. Trata-se nesse aspecto do uso estratégico dos instrumentos tradicionais de administração para fins ecológicos. A eficácia das equipes de administração treinadas e experientes em fixar metas e fazer com que sejam atingidas é estendida ao contexto ambiental.

- Inovação: inovações que diminuam os impactos ambientais das operações de uma empresa gerando economia de custos que trazem vantagens ecológicas ao consumidor, e geram vantagens competitivas;
- Cooperação: entre os agentes do ciclo completo de vida de um produto, das matérias-primas, passando pela produção até o uso e o descarte, gerando efeitos econômicos e ecológico que obedecem a leis diferentes: a competição norteia o primeiro, e a cooperação é essencial ao segundo;
- Comunicação: importância estratégica global devido à crise de confiança que afeta as empresas individualmente e setores interiores;

Segundo o mesmo autor, quatro são as preocupações com que nos defrontamos:

Necessidade de inovar – projeto de produtos ou projetos de operação e processos;  
Controlar com responsabilidade a adesão às normas ambientais, regulamentadas ou não;

Necessidade de informar o público de forma honesta e tecnicamente correta, respeitando o seu direito de conhecer os impactos de uma indústria.

Necessidade de proporcionar treinamento e educação permanentes aos funcionários cuja atuação é essencial para melhorar o desempenho ambiental de uma empresa, cuja saúde e bem estar, muitas vezes, dependem da política da empresa.

A inclusão da proteção ambiental entre os objetivos da administração amplia substancialmente todo o conceito de administração:

- Treinamento de funcionários: educar, treinar e motivar funcionários de forma a conduzirem suas atividades de maneira ambientalmente responsável.
- Pesquisa: elaborar e promover pesquisa acerca de impactos ambientais das matérias-primas, produtos, processos, emissões e resíduos associados à produção da empresa e os meios de minimizar tais impactos adversos.
- Transferência de tecnologia: contribuir para a transferência de tecnologia e métodos de gestão dos setores industriais e de outros públicos interessados.

- Avaliação inicial: avaliar os impactos ambientais antes de iniciar uma nova atividade ou projeto, antes de desativar ou fechar uma instalação ou abandonar um sítio.
- Abordagem preventiva: prevenir impactos ambientais significativos e/ou irreversíveis, modificando a produção, a comercialização ou o uso de produtos, ou de serviços, baseados nos conhecimentos científicos e tecnológicos.
- Produtos e serviços: desenvolver e providenciar produtos ou serviços que não apresentem impactos ambientais indevidos e que sejam seguros para o uso intencionado, eficientes no consumo de energia e dos recursos naturais, e que possam, ainda, ser reciclados, reusados, ou dispostos de forma segura no meio ambiente.
- Atendimento ao cliente: orientar e, quando relevante, educar clientes, distribuidores e o público quanto ao uso seguro, ao transporte, à estocagem e à disposição de produtos, aplicando considerações similares às provisões de serviços.
- Instalações e operações: desenvolver, projetar e operar instalações e conduzir atividades levando em consideração o uso eficiente de energia e de materiais, o uso sustentável dos recursos renováveis, a minimização dos impactos ambientais adversos, a geração de resíduos, o uso e a disposição segura e correta dos resíduos gerados.
- Prestadores/fornecedores de serviços: promover a adoção desses princípios pelo sub-contratados que agem em nome da empresa. Encorajar e, quando apropriado, exigir melhorias nas suas práticas, tornando-as consistentes e compatíveis com as da empresa, estimulando a adoção abrangente desses princípios pelos fornecedores.
- Prevenção e resposta emergencial: desenvolver e manter, nos casos em que existam riscos significativos, planos de prevenção e de emergência em conjunto com serviços emergenciais, autoridades competentes e a comunidade local, reconhecendo o potencial dos impactos fronteiriços.
- Contribuição para o bem comum: contribuir para o desenvolvimento de políticas, de programas governamentais e intergovernamentais e de iniciativas educacionais quanto à conscientização e à proteção ambiental.
- Abertura para o diálogo: promover um diálogo aberto com funcionários e o público, antecipando e respondendo às suas preocupações sobre potenciais e impactos das operações, produtos, resíduos e serviços, incluindo aquelas de significância transfronteiriça e global.
- Conformidade e comunicação: medir o desempenho ambiental, conduzir auditorias ambientais regulares e avaliações em conformidade com os requisitos da empresa, registros legais e com esses princípios: periodicamente providenciar informações apropriadas para o Conselho de Administração, funcionários, autoridades e o público geral.

Com o desenvolvimento que a sociedade experimentou nas últimas décadas, os seus hábitos de consumo e necessidades, são geradas quantidades imensuráveis de resíduos. É inevitável a necessidade de reincorporá-los ao ciclo de produção e consumo, aumentando assim a sua vida útil e conseqüentemente diminuindo a contaminação do planeta.

A preocupação com o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, são algumas das prioridades da sociedade como um todo. É neste sentido que a indústria moveleira e sua cadeia produtiva estão comprometidas e os gestores dos resíduos devem realizar um grande trabalho indo ao encontro das normas de preservação ambiental.

Não há como negar que os resíduos gerados pela indústria do móvel, são uma das maiores fontes de impacto ambiental junto aos pólos moveleiros, no caso, o pólo de Bento Gonçalves, objeto deste estudo. Entre estes, encontra-se o resíduo das chapas de madeira aglomerada, classificados como classe II, segundo resolução do CONAMA 006/88 (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Os resíduos poderiam vir a ser recuperados e reutilizados como matéria-prima que posteriormente seriam inseridos novamente no ciclo de produção do móvel.

De acordo com a legislação ambiental vigente, estão estabelecidos procedimentos que estabelecem a gestão destes resíduos. A resolução do CONAMA 237/97 define como deve ser o procedimento. De qualquer maneira, o objetivo maior é o de proteger o meio ambiente e a saúde das pessoas. A legislação é aplicada para todo o tipo de resíduos e estabelece como forma de atuação a seguinte hierarquia:

- redução na origem;
- reutilização;
- reciclagem;
- transformação;
- eliminação.

Para a grande maioria da população, os resíduos de aglomerado são considerados como inócuos para o meio ambiente. Destinos tradicionais para estes resíduos tem sido a sua utilização como fonte de calor na secagem de madeira, nos processos de pintura e na fabricação de cerâmica vermelha, através da queima direta. Muitas vezes, sem qualquer tipo de filtragem das chaminés, dispersando o particulado sólido no meio ambiente. Há casos piores como o destino do pó e da serragem para servir como cama para aviários, dispostos a céu aberto. Estes são os destinos do resíduo que competem diretamente com a possibilidade da reciclagem.

## **14 RESÍDUOS**

### **14.1 Redução dos resíduos**

Faz-se necessário que os países estabeleçam objetivos para reduzir a geração de resíduos de forma a influenciar padrões da produção e consumo. Devem ainda considerar a possibilidade de investir em programas de redução de resíduos equivalentes a 1% de seus gastos anuais com disposição de resíduos e esgotos (6,5 bilhões de dólares nos níveis atuais). São necessárias mais pesquisas sobre tecnologias limpas e sobre novos métodos para partilhar internacionalmente informações e incentivos para a redução de resíduos. Deve ser desenvolvida a capacidade de monitorar e compreender o ciclo de produção e disposição de resíduos sólidos (SCHNEIDER *et al.*, 2004).

A viabilidade da quantidade gerada e recolhida de resíduos de aglomerado, que é gerada, está diretamente ligada ao custo associado ao transporte e ao volume, portanto, faz-se necessário analisar minuciosamente estas informações dentro de um raio de ação previamente definido.



FIG. 8 - Móveis velhos e restos de chapas de madeira aglomerada  
Fonte: Wilhelm-Klauditz-Institut Braunschweig, 2004.

### 14.2 Resíduos de móveis

Os resíduos de móveis, em geral, são resíduos volumosos e pesados. No Brasil se desconhece legislação clara quanto a este tipo de resíduo. Eles são compostos basicamente por móveis velhos (FIG. 8) com predominância em aglomerado produzidos com madeira de *Pinus ssp* e *Eucalyptus ssp*, muitas vezes, incorporados com aço, zamac, latão, polímeros, alumínio e vidro. A presença destes materiais pode ocasionar algum tipo de dificuldade ao reciclador em receber o material para reciclar. (WILHELM, 2004)

### 14.3 Reciclagem

A reciclagem de resíduos se torna astronômicamente mais atraente à medida que os escoadouros são fechados ou têm sua capacidade esgotada. Programas nacionais para reciclagem deveriam entrar em vigor no ano 2000 nos países industrializados e no ano de 2010 nas nações em desenvolvimento. Os programas de reciclagem devem ser ampliados. São necessários incentivos econômicos, mercadológicos e legais para apoiar a reciclagem e o reuso. Devem ser estabelecidos programas baseados nas comunidades e em moradias individuais, incluindo a coleta seletiva de resíduos recicláveis (SCHNEIDER et al., 2004).

## 15 PRODUÇÃO DE CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADA

Para a fabricação da chapa de aglomerado devem ser monitoradas as variáveis que podem interferir no processo de desintegração dos retalhos de chapas de aglomerado no interior da autoclave. Para esta etapa, devem ser utilizados retalhos de aglomerado cru com espessura de 12 e ou 15 mm, fabricados com madeira de *Eucalyptus spp*.

Itens controlados:

- volume de material colocado no cesto da autoclave;
- volume de água na parte inferior da câmara;
- pH do vapor durante o processo;
- temperatura;
- pressão;
- tempo de permanência do material no interior da câmara;
- coleta de amostra de vapor e de água para possível análise da composição, a fim de detectar - a possível existência de formaldeído no vapor.

## 16 PREPARAÇÃO DOS CAVACOS

Os retalhos de aglomerado devem ser quebrados em tamanhos que poderão variar de 10 a 20 cm<sup>2</sup> e depois devem ser mergulhados em água por um período de 24 horas para auxiliar na desintegração do material. Após, os retalhos devem ser colocados na autoclave com água limpa. Para a separação dos cavacos, foi utilizada uma peneira com furos de 4 mm (Fig. 9). Os cavacos que permanecem na peneira devem ser utilizados na camada interna (CI) da nova chapa e os cavacos que passam pela peneira devem ser utilizados nas duas camadas externas (CE) da nova chapa. Para que haja um bom controle da granulometria, deve ser utilizado o equipamento Granu Test (Fig. 10), composto por quatro peneiras com granulometria de 2,8; 2,0; 1,0 e 0,25 mm.

O objetivo é separar os cavacos finos que foram utilizados nas camadas externas da chapa. Os cavacos devem ser secos até alcançar mais ou menos 12% de teor de umidade.



FIG. 9 – Peneira



FIG. 10 - Equipamento Granu Test

Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico do Mobiliário

## 17 SECAGEM

A secagem deve ser feita em estufa a fim de obter um valor de umidade em torno de 12%.

## 18 PREPARAÇÃO DO ADESIVO

Deve ser utilizado adesivo a base de uréia-formaldeído , com 65% de sólidos, na proporção de 6,1% do peso seco dos cavacos para a camada interna (CI) e 7,2% para as duas camadas externas (CE). Também deve ser utilizado 2,55% de Cloreto de Amônia para endurecer a resina. Por fim, misturar 6% de emulsão de parafina a uma concentração de 65%.

## 19 PREPARAÇÃO DA CHAPA DE MADEIRA AGLOMERADO

### 19.1 Etapas para a fabricação da chapa de madeira aglomerada

Para a fabricação da chapa de aglomerado a partir dos cavacos obtidos de retalhos de chapas de madeira aglomerada, devem ser utilizados os seguintes equipamentos e dispositivos:

- balança de precisão marca Urano, com capacidade de 4kg, calibrada pelo Laboratório de Controle de Qualidade da Satipel;
- molde de metal nas dimensões de 400 mm x 400 mm x 100 mm;
- prensa hidro-elétrica da marca BECKER & VANHÜLLEN (Fig. 11)
- misturador de cola (Fig. 12);
- régua bitoladora com espessura de 15mm;

- chapa de alumínio de 500 x 500 x 3mm.



FIG. 11 - Prensa hidro-elétrica



FIG. 12 - Misturador de cola

Fonte: SENAI. RS. Centro Tecnológico do Mobiliário

## 19.2 Processo de fabricação da chapa de madeira aglomerada

Para confeccionar a chapa de 400 x 400 mm, com densidade de 700 kg/m<sup>3</sup> é necessário: 1.120 g de cavacos maiores para a camada interna (CI) e 750 g para as camadas externas (CE).

Preparar a batida (receita) do aglutinante, utilizando adesivo à base de uréia-formaldeído, fornecido pela SYNTEKO, (65% de sólidos) na proporção de 6,1% do peso seco dos cavacos para a camada interna (CI) e 7,2% para as duas camadas externas (CE). Também deve ser utilizado 2,55% de Cloreto de Amônia para endurecer a resina. Por fim, misturar 6% de emulsão de parafina a uma concentração de 65%. Após a separação dos cavacos por granulometria, adicionar o adesivo aos cavacos e efetuar a homogeneização da mistura, mantendo separados os cavacos pela granulometria, antes preparar as CE e depois a CI. Com o adesivo aplicado, preparar o molde para dar o formato externo da chapa de 400 x 400 mm. Distribuir as camadas de cavacos no molde sobre chapa de alumínio. Primeiro a camada externa (CE), na seguinte ordem: 0,25, 1,0, 2,0, 2,8 mm. Segundo a camada interna (CI), para o miolo e, por fim, colocar a camada externa(CE), na seguinte ordem: 2,8, 2,0, 1,0, 0,25 mm.

Ao mesmo tempo, a prensa onde deve ser formada e a chapa deve estar sendo preparada nas condições exigidas para a realização do processo de prensagem: temperatura de 170°C, pressão de 25 Kg/cm<sup>2</sup>, com tempo de 3 min. Colocar os cavacos no molde e posicionar o material entre os pratos da prensa, acionando o comando de fechar. Aguardar o tempo estabelecido de 3 min e retirar a chapa de aglomerado da prensa. A chapa permanece armazenada por um período suficiente para esfriar. Após o resfriamento e a estabilização de 7 dias, a chapa deve ser calibrada e lixada para os ajustes na espessura e o uso a que se destina.

## 20 PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

A preparação dos corpos-de-prova devem seguir as orientações da norma técnica NBR 14810-2:2002 – Chapas de Madeira Aglomerada – Parte 2 – Requisitos. Os ensaios a serem realizados devem ser definidos segundo as orientações da norma técnica.

## **21 ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS**

### **21.1 Dimensional dos corpos-de-prova**

As medições das dimensões das amostras devem ser executadas com paquímetros calibrados.

### **21.2 Densidade**

A densidade é a característica representada pelo quociente da relação entre massa e o volume dos corpos-de-prova.

### **21.3 Absorção e inchamento**

A absorção de água é medida pelo aumento da massa, em água, que os corpos-de-prova de uma chapa de madeira aglomerada apresentam, após serem imersos em água a  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$  pelo tempo de  $2 \text{ h} \pm 3 \text{ min}$ .

### **21.4 Arranque de parafusos**

O teste determina a resistência que a madeira aglomerada oferece ao arrancamento de parafusos. A característica é expressa em kg de resistência por milímetro de rosca do parafuso inserida no aglomerado. Cada parafuso deve penetrar até a profundidade de 17 mm no topo do corpo-de-prova. A força aplicada ao plano do corpo-de-prova, isto é, no eixo do parafuso, que é puxado pela cabeça. O teste não pode durar menos de 30 segundos, nem mais de 2 minutos.

### **21.5 Resistência à tração perpendicular**

O ensaio de resistência à tração perpendicular necessita de corpos-de-prova medindo 50 x 50 mm, os quais devem ser colados entre duas chapas de aço, com cola, para colagem dos blocos de tração aos corpos-de-prova. Após a colagem, os conjuntos devem ser acondicionados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio, nas condições  $(65 \pm 5) \%$  de umidade relativa, e temperatura de  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ .

### **21.6 Resistência à flexão**

A resistência à flexão é a constante estática que expressa a rigidez de corpos-de-prova de uma chapa de madeira aglomerada, determinada durante o regime elástico, onde não há a modificação de suas características originais.

## **CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

As estratégias de melhor utilização dos recursos naturais, madeira maciça de *pinnus spp* ou *Eucalyptus spp*, para a fabricação de chapas de madeira aglomerada, devem estar presentes no processo de desenvolvimento de todos os produtos. O design nunca deve estar dissociado do processo produtivo, dos fatores tecnológicos, dos fatores humanos, dos fatores econômicos e, principalmente, dos fatores ecológicos. No entanto, o que se conclui é que a produção de móveis em grande escala, como é o caso do APL da Serra Gaúcha, o valor agregado está mais direcionado para as práticas de gestão dos recursos como: matéria-prima, capital intelectual, e a redução da geração de resíduos de chapas de madeira aglomerada e o seu conseqüente uso para gerar novas chapas.

A identificação de fatores determinantes para a reutilização de retalhos de chapas de aglomerado tem impactado no custo de implantação de usinas recuperadoras; na falta de políticas de gestão ambiental; no desconhecimento de práticas de geração de matéria-prima a partir de resíduos de madeira; na falta de combustível vegetal para geração de energia para

secagem de madeira maciça; e por outras vezes pelo simples desconhecimento dos danos que podem ser causados pela queima deste material. A partir da liberação do gás originado da queima do formaldeído, têm se observado empecilhos para o avanço de estudos com vistas à eliminação dos resíduos de chapas de madeira reconstituída.

Para melhor administrar o processo de gestão dos resíduos de madeira, em especial de chapas de madeira aglomerada, torna-se indispensável o investimento em pequenas usinas de geração de cavacos e de produção de componentes para serem utilizados pela cadeia produtiva moveleira. Do processamento, são gerados 6,02% de resíduos, o que corresponde a aproximadamente 2.572 m<sup>3</sup>/mês, não estão considerados os outros resíduos como: maravalha, pó, resíduos de MDF, retalhos de madeira maciça, lixas, borra de tinta e outros. Se for considerado ainda que para gerar 1 m<sup>3</sup> de chapa de madeira aglomerada, são necessários aproximadamente 3 m<sup>3</sup> de madeira maciça, e que para uma árvore ser abatida para a fabricação das chapas de madeira aglomerada, demora 8 anos desde o seu plantio até o abate, assim estaria se reduzindo a pressão sobre a floresta de aproximadamente 8 anos, além de se economizar em torno de 7.500 m<sup>3</sup> de madeira por mês, considerando-se apenas as chapas de madeira aglomerada.

Os resultados devem demonstrar que as propriedades físicas e mecânicas da nova chapa, fabricada a partir da desaglomeração de retalhos de chapas de madeira aglomerada descartadas pela indústria moveleira, apresentam qualidades aceitáveis para uso na fabricação do mobiliário. Os fatores que determinarão a qualidade dos móveis a serem fabricados com estas chapas estão diretamente relacionados com o trabalho a que serão submetidas às peças dos mesmos.

## Referências

ARRUDA, Guilherme. **Indústria brasileira do mobiliário**: desafios e evolução. Curitiba: Alternativa, 1997. 94 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810**: chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MÓVEIS. **Informações relativas ao PROMÓVEL**. Disponível em: <<http://www.abimovel.org.br>>. Acesso em: 10 out. 2006.

ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE RECUPERADORES DE MADERA. Disponível em: <<http://www.aserna.org>>. Acesso em: 03 nov. 2006.

BALDWIN, Richard F. **Playwood manufacturing practices**. [S.l.]: Freeman, 1975. 260 p.

BERNARDI, Renato. **Uso de painéis de madeira reconstituída**. Bento Gonçalves: SENAI/RS-CETEMO, 2003. 104 p.

CAMPOS, C.I.; LAHR, F.A.R. Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF, produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto, utilizando uréia-formaldeído. **Matéria**, v. 9, n.1, p. 32-42, 2004.

CARNOS, Bernardo. **Madeira aglomerada**: conceito e utilização. Porto Alegre: SAGRA, 1988. 118 p.

\_\_\_\_\_. **Madepam, a nova madeira**: instruções de uso. 2. ed. Porto Alegre: Grupo Peixoto de Castro, 1976. 90 p.

CENTRO GESTOR DE INOVAÇÃO MOVELEIRO. **Missão técnica Alemanha e Itália**. Bento Gonçalves, 2004.

CIS-MADERA. **Revista Del Centro de Innovación y Servicios tecnológicos da La Madera de Galicia**, n. 10, 2003.

COUTINHO, Luciano (Coord.). **Design na indústria brasileira de móveis**. Brasília: Sebrae/Finep/Abimóvel/Fecamp/Unicamp-IE-Neit, 1999.

DOMBEY, S; SPARKES, A.J. Formaldehyde. **FIRA Stevenage**, v. 27, n. 103, p. 3-5, sep., 1988.

ELEOTÉRIO, Jackson Roberto. Propriedades físicas e mecânicas de painéis de MDF de diferentes densidades e teores de resina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.2, p.74-90, dez. 2000

EUCALIPTO: pesquisa amplia usos. **Revista da Madeira**, Curitiba, 2003. Edição especial.

FIKSEL, Joseph. **Design for environment: creating eco-efficient products and processes**. New York: McGraw-Hill, 1996.

GINZEL, Walter; PERAZA, Cezar. **Tecnologia de tableros de partículas**. Madri: Ministério de Agricultura, Instituto Florestal de investigaciones y Experiências, 1996.

GONÇALVES, Marcos Tadeu Tiburcio. **Processamento da madeira**. Bauru, 2000, 245 p.

GORINI, Ana Paula Fontenelle. **A indústria de móveis no Brasil**. Curitiba: Alternativa, 2000. 80p.

\_\_\_\_\_. **Panorama do setor moveleiro no Brasil**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/publica>>. Acesso em: 01 out. 2006.

\_\_\_\_\_. Panorama do setor moveleiro no Brasil, com ênfase na competitividade externa, a partir do desenvolvimento da cadeia produtiva industrial de produtos sólidos de madeira. **BNDDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 8, p.3-58, set. 1998.

GUIA da indústria do mobiliário no RS. Caxias do Sul: Lettech, 2001. 242 p.

HILLIG, Everton et al. **Estudo do reaproveitamento de resíduos de madeira na confecção de compósitos à base de resina fenólica**. parte II. Joinvile, 2002.

IMAN, Sayed H. Stuck on strarch: an new wood adhesive. **Agricultural Research Magazine**, Beltsville, v.48, n.4, apr. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Adesivo de tanino formaldeído para fabricação de compensado e aglomerado para uso interior e exterior**. Brasília,1979. 19 p.

INSTITUTO DE PESQUISA E ANÁLISE. **Pólos moveleiros: II Linhares (ES), III Ubá (MG), IV Bento Gonçalves (RS)**. Rio de Janeiro: ABIMÓVEL, 2002. 214p.

MOBILIÁRIO E MADEIRA. Bento Gonçalves, SENAI-RS/CETEMO, v.16, 2003.

MASISA. **Catálogo de produtos**. São Paulo, 2004.

PINUS, uma alternativa de mercado. **Revista da Madeira**, Curitiba, dez. 2004. Edição Especial

SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DE USOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 2. 2001. SIMPÓSIO FLORESTAL DO RS, 6. 2001. **Anais...** Caxias do Sul: SIMADER, 2001. 224 p.

SCHNEIDER, Vania Elisabete et al. **Pólo moveleiro da serra gaúcha: geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental**. Caxias do Sul: EDUCS, 2004. 165 p.

SENAI. RS. CENTRO TECNOLÓGICO DO MOBILIÁRIO. **Glossário mobiliário madeira**. Bento Gonçalves, 1994.

SOLUÇÕES para minimizar o desequilíbrio a oferta e a demanda de madeira chegam com atraso. **R. ABIMÓVEL**, Rio de Janeiro, n. 32, jun. 2004.

TAFISA DO BRASIL. **Aglomerado de partículas**. São Paulo, 2004. 24 p.

TENÓRIO, Edir Carvalho. **Quick and easy**. Belo Horizonte: ABIMÓVEL, 1997. 136 p.

VENZKE, Cláudio Sena. Situação do ecodesign In: Centro Tecnológico do Mobiliário. **Relatório de projeto interno do CETEMO enviado a FINEP com título Projeto Florestal Metade Sul**. Bento Gonçalves, 2002.

VETAS, Buenos Aires, v. 19, n. 200, mar., 1999.

Wilhelm-Klauditz-Institut Braunschweig. CETA-RS. Fraunhofer. **Aproveitamento de resíduos**. 2004.

WITTMANN, O. Formaldehyde release from particleboard. **Holz Roth-Unol Werkstoff**, n. 20, p. 221-224, 1962.

#### **Nome do técnico responsável**

Renato Bernardi - Mestre em Engenharia de Energia, Ambiente e Materiais

#### **Nome da Instituição**

SENAI – RS / Centro Tecnológico do Mobiliário - CETEMO

#### **Data de finalização**

20 nov. 2006