

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Gil Machado Guigon de Araujo

Desafios para aplicação da metodologia do Berço-a-berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção Profissional).

Orientador: Prof. Tacio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro
Dezembro de 2012



Gil Machado Guigon de Araujo

Desafios para aplicação da metodologia do Berço-a-berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Tacio Mauro Pereira de Campos

Presidente / Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof^a. Denise Maria Mano Pessoa

PUC-Rio

Prof^a. Lucy Carlinda da Rocha de Niemeyer

UERJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de dezembro de 2012.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Gil Machado Guigon de Araujo

Graduou-se em Desenho Industrial pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 2006 com habilitação em Programação Visual e Projeto de Produto. Realizou intercâmbio durante 6 meses na École de Beaux-Arts de Saint Étienne em 2005. Pós-Graduado em Engenharia Urbana e Ambiental (Mestrado Profissional) pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2012. Principais áreas de interesse: design de produto, gestão de resíduos, ciclo de vida e engenharia urbana e ambiental

Ficha Catalográfica

Araujo, Gil Machado Guigon de

Desafios para aplicação da metodologia do Berço-ao-berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP / Gil Machado Guigon de Araujo; orientador: Tacio Mauro Pereira de Campos. – 2012.

88 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Resíduos sólidos. 3. Ciclo de vida. 4. Berço-ao-berço. 5. Mobiliário. 6. MDF. 7. MDP. I. Campos, Tacio Mauro Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Aos meus pais, meus irmãos, Marina Deluigi, Carlos Tietjen, Clebes de Oliveira, Craig Bartlett, Haroldo Lemos, Paula Enoy, e Tacio de Campos.

Resumo

Araujo, Gil Machado Guigon; Campos, Tacio Mauro Pereira de (Orientador). **Desafios para aplicação da metodologia do Berço-ao-berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP**. Rio de Janeiro, 2012, 88p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A crescente percepção da importância da proteção ambiental e dos impactos associados aos bens de consumo tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com estes impactos. Neste contexto, a metodologia berço-ao-berço (C2C) descreve uma maneira de projetar produtos com ciclos de vida (biológicos ou técnicos) fechados, para evitar a perda de nutrientes do solo e de matéria-prima não renovável. Na indústria de mobiliário, a madeira tem sido cada vez mais substituída por painéis industrializados (MDF e MDP), que oferecem maior produtividade, matéria prima renovável e um posicionamento sustentável de mercado. A maneira como são descartados hoje, no entanto, não está alinhada com esse discurso. A partir de revisão bibliográfica, visitas e entrevistas, o ciclo de vida do móvel de MDF e MDP foi descrito para que, posteriormente pudessem ser avaliadas as possibilidades de adequação à metodologia C2C. Ao final do trabalho, concluiu-se que por ser um material que pode ser adequado ao ciclo biológico ou ao ciclo técnico, seu potencial para o fechamento do ciclo é grande, no entanto devem ser superadas barreiras como a utilização de componentes nocivos à saúde em sua composição e o descarte fragmentado dos móveis.

Palavras-chave

Resíduos sólidos; ciclo de vida; berço-ao-berço; mobiliário; MDF; MDP.

Extended Abstract

Araujo, Gil Machado Guigon; Campos, Tacio Mauro Pereira de (Advisor). **Challenges for applying the Cradle-to-cradle methodology to the life cycle of MDF and MDP furniture.** Rio de Janeiro, 2012. 88p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The perception that human activities might have significant impact in the environment led, in the last decades, to the development of policies and methodologies to better understand and handle the subject. The United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), also known as the Rio Summit or ECO-92, was a major event in that direction. More than one hundred heads of state gathered with other representatives from the society, industries and environmentalists to discuss about sustainable development and global warming (MCDONOUGH and BRAUNGART, 2002). One of the negotiation's result was the definition of the eco-efficiency strategy, that guided the industry approach to the issue in the two past decades.

Reducing direct and indirect environmental impact in every possible opportunity became one of the main strategies to reach such eco-efficiency. To identify these possibilities, the product's life cycle became focus of studies from researchers, companies and governments. The Law no. 12.305/2010, for example, defines life cycle as the series of stages related to the development of the product, the acquisition of raw material, the production process, consumption and final disposal.

In a similar way, the International Standards Organization (ISO) defines life cycle as consecutive and interlinked stages of a product system, from raw material acquisition or generation from natural resources to final disposal. 14000 series of norms, from ISO, is one of the main tools to provide inputs to this debate. More specific, 14020 and 14040 regulate environmental labels and life cycle assessment (LCA). While labels are essential to communicate to the market the characteristics of a product, LCA is one of the most complete tool to help decisions related to the development of products or services. It can be applied to the whole life cycle, from raw material extraction to disposal, or in specific stages, and allows for a comparison between two different solutions based in the same functional unit, or objective, making it easier to identify the least negative impact.

Cradle-to-cradle methodology (C2C) developed by MCDONOUGH and BRAUNGART (2002) takes a step further in the approach of the environmental impact reduction, suggesting that instead of reducing the negative impact, products and services should have a positive impact in the environment.

Although C2C shares some principles with ecodesign, and utilize LCA as a tool to support choices related to material and processes, it was chosen as guideline for this work given its more radical principles and the possibility of evaluation through an certification process developed by the authors. C2C framework describes a way of designing products with closed loop life cycles, suggesting that every product is part of a biological or technical cycle, depending on the nutrients in it. Biological nutrients are materials used by living organisms in the processes of cellular division, growing, and other complex functions. A product design to integrate this cycle should be able to go through composting process without contaminating the soil. Technical nutrients are materials extracted from the environment and processed for use in industrial processes. To be characterized as a technical nutrient according to C2C, its composition and use must allow them to be recycled without losing its high quality. Materials from different cycles should never be mixed in a permanent way, to avoid contamination from one to the other.

The methodology can be applied in different areas, and for this research the furniture industry was chosen, given its use of the forest as raw material – a central theme

of environmental discussion, especially in Brazil that has 4.2 million squared kilometers of Amazon biome, one of the richest ecosystems of the planet in biodiversity.

Wood processing is very labor intensive. The conversion of logs to boards, with different types of cut and techniques for drying the wood must be done in controlled environment to avoid splits and cracks that damage the boards. Its high resistance compared to its specific mass, and the easy workability (low energy, simple machines) made it the favorite material for the furniture industry (MENDES, 2005) and allowed for the development of a great variety of fittings. In the 20th century new technologies were developed to industrialize wood working. The large scale production of plywood allowed wood manufactures to have a better percentage of used material from the log, and furniture manufactures had a stable board always with the same dimensions, marking the beginning of industrial furniture production. The development of new technologies and the shortage of wood supply led to the development of other levels of wood industrialization, such as the particleboard and the medium density fiberboard (MDF). Both materials have a very good ratio of log use (around 1,35 m³ of log to 1 m³ of material) when compared to plywood (2,3 m³ of log to 1 m³ of material) and became standard for large scale furniture industry in Brazil. Along with the high productivity and the fact that it uses sustainable raw material, many times particleboard and MDF are marketed as sustainable products.

Both particleboard and MDF panels are composed by wood material and formaldehyde (a substance classified as carcinogenic by major global health agencies)-based resin. Although technology allows for the formaldehyde to be harmless during the production and use stages, it prevents that the panels have the same destination of wood when disposed.

In Chapter 3 the particleboard and MDF life cycle was described, based on site visits, literature review and interviews, so that, later, possibilities of suitability for the C2C could be evaluated.

A visit was made to a MDF production plant, in the south region of Brazil, and gave a very good notion of the proportion of that sector. In terms of inputs and outputs it was observed that all of the logs used come from forests planted with this purpose, and the MDF waste (from sanding and cutting) is used in internal process to generate energy. The process can be divided in two: turning the logs into fiber, and turning fibers into board.

The practices of the main furniture industries regarding installed equipment, safety measures, types of furniture and waste management were analyzed from literature review. Most of the large scale industries have very similar processes of production, but waste management differs a lot depending on the level of organization of local associations. By lack of information and under a mistaken argument of environmental benefit in various furniture centers sawdust has been used in lining grange, fertilizer for vegetables, or burned without emissions control for energy production (PEREIRA, 2003). Only in Araçuaia, Pará, it was found a waste treatment center (CETEC) maintained by the local furniture industries association. The center receives and treats each kind of waste (ink, solvents, plastic band, sandpaper, and others) according to federal and local legislation. The wood waste is turned into pellets for energy generation (LIMA, 2005).

Is terms of use of the furniture it was observed that a piece of furniture can suffer a series of transformations to extend its lifetime such as restoration to its original form or new covering materials, and the reuse is very common, through selling or donating. A piece of furniture is only disposed, and reaches the municipal urban cleaning company when it has no conditions of being reused. In Rio de Janeiro no special treatment is given to wood waste, and the final destination are landfills.

At the end of the study, all of the aspects of C2C were applied to the life cycle of the MDF furniture, including the current solutions given to its waste. Creating composite plastics were not recommended since it can render impossible to recover the fibers, or the plastic, creating products that will loose quality each time they are recycled. Burning was not recommended too, since it generates dioxins, harmful to human health, need very

expensive filtering equipment, and does not represent a closed cycle of materials. Landfill disposal was the solution considered to be the safer, although it also does not configure a closed cycle since the materials are lost indefinitely.

Regarding the suitability of MDF to the biological or technical cycle, biological would be a logical choice since its made with raw material from forests. As 91% of all produced MDF is covered with plastic, ink or varnish, the compost produced would be contaminated, therefore not compatible to C2C guidelines. It could be a solution for the uncoated 9% that becomes waste in the production plants, although wood degradation is slow and the composting plant would take a large area.

There are recent technologies that can recover fibers from used boards with the same quality, and such process represent a promising opportunity for evaluating the MDF as part of a closed technological cycle.

Even though the potential for closing both biological cycle or technical cycle is good, the use of harmful components in it composition and fragmentation of furniture discard configure big challenges that must be overcome.

To help solve that issue, design should be largely used by industries in order to conceive innovative products that would consider C2C principles from the start. The exploration of new materials such as colored MDF could reduce the need for coating. Combining traditional wood working fittings with modern equipment such as computer numerical control (CNC) machines could create pieces productive and easy to disassemble, making it easier to be collected to a fiber recovery factory, for example.

As final recommendations, it was found that there is a lack of precise data to feed a LCA study that could compare the use of virgin and recovered fibers; the use of formaldehyde should be avoided; coatings represent a threat in the process, so they should be avoided or new coating should be developed considering the C2C process; a transparent certification system should replace the current labels which are not clear; and legislation could compel industries to take a sustainable approach do the MDF lifecycle.

Keywords

Solid waste; life cycle; cradle-to-cradle, C2C; furniture, MDF, MDP.

Sumário

1. Introdução	12
2. Referencial teórico	14
2.1. Ciclo de vida, regulamentação, e ISO 14.040	14
2.2. Cradle-to-cradle (C2C)	23
2.3. Substituição da madeira maciça	32
2.4. Formaldeído	44
3. Etapas da vida do móvel	50
3.1. Produção de painéis	50
3.2. Fabricação de móveis	59
3.3. Uso (manutenção, reparo, reforma, e reuso)	64
3.4. Descarte e destinação final	67
4. Discussão: como fechar o ciclo?	71
4.1. Ciclo biológico	72
4.2. Ciclo técnico	74
4.3. Uma questão de logística	77
4.4. O valor do projeto	79
5. Recomendações	83
6. Referências bibliográficas	85

Lista de figuras

Figura 1: Fases de uma ACV	17
Figura 2: Métodos de conversão da madeira	34
Figura 3: Principais defeitos encontrados na madeira maciça	35
Figura 4: Algumas técnicas de trabalho com madeira	36
Figura 5: (a) Estoque (b) Serra circular (c) Desenho de peças (d) Peças	37
Figura 6: (a) Peças (b) Veios (c) Acabamento (d) Detalhe cunha	38
Figura 7: Diagrama de Hommel do formaldeído em solução	45
Figura 8: Processo de fabricação do MDF	51
Figura 9: (a) Pannel de partículas; e (b) Pannel de fibra	59
Figura 10: Exemplos de junções cortadas em fresa CNC	80
Figura 11: Móvel de MDF colorido com encaixes	81

Lista de quadros

Quadro 1: Diretrizes para a Revolução Industrial e a Eco-eficiência	24
Quadro 2: Industrialização dos painéis de madeira reconstituída	39
Quadro 3: Polos moveleiros no Brasil	42
Quadro 4: Vantagens e desvantagens de acabamentos para madeira	43
Quadro 5: Concentração e sintomas da exposição ao formaldeído	48
Quadro 6: Classificação dos painéis de MDF e nível de emissão	49
Quadro 7: Resíduos gerados durante a produção de painéis e destino	55
Quadro 8: Comparação entre MDF e MDP	58
Quadro 9: Concentração de formaldeído em fábricas de móveis	62
Quadro 10: Destinação para resíduos de painéis em diferentes regiões	63
Quadro 11: Concentração de formaldeído em escritórios	64
Quadro 12: Percentual de resíduos gerados por etapa da vida do móvel	67

Lista de siglas

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABIMOVEL	Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
C2C	Cradle to cradle
CETEC	Centro de Tratamento de Resíduos Industriais
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana – RJ
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA-RS	Conselho Estadual do Meio Ambiente – RS
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental – RS
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FSC	Forest Stewardship Council
HDF	High Density Fiberboard
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto Sobre Produtos Industrializados
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
OSB	Oriented Strand Board
PVC	Polyvinyl Chloride
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis

O que teria acontecido (...) se a Revolução Industrial tivesse se passado em sociedades que enfatizassem a comunidade sobre o indivíduo, e onde as pessoas acreditassem, não em uma vida do berço ao túmulo, mas em reencarnação?

Tradução livre de McDonough e M. Braungart,

Cradle to cradle, remaking the way we make things

1

Introdução

A ECO-92 foi uma conferência realizada no Rio de Janeiro, em que mais de cem chefes de estado e representantes da sociedade civil se reuniram para debater a questão ambiental. A partir desse momento, ficou acordado que a atividade humana pode ter grande impactos no ambiente, causando desequilíbrio em ecossistemas do planeta; e que medidas deveriam ser tomadas para a redução desse impacto, entrando em vigor a noção de eco-eficiência como a melhor forma de lidar com o problema.

Uma das principais ferramentas para fornecimento de insumos para esse debate é a série 14000 de normas ISO, relacionada à gestão ambiental. Mais específicas, a 14020 e a 14040 normatizam a Rotulagem Ambiental e a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), respectivamente. Enquanto a Rotulagem Ambiental é essencial para a comunicação ao mercado das características de um determinado produto, a ACV é uma das mais completas ferramentas existentes para tomada de decisão no que diz respeito ao desenvolvimento de produtos ou serviços. Por ser aplicada no ciclo de vida completo, desde a extração da matéria-prima até o descarte, ou em etapas específicas, esta ferramenta possibilita a comparação do impacto ambiental de diferentes soluções que possuem a mesma função ou objetivo, facilitando a escolha pelo menor impacto.

O conceito de ciclo de vida berço-ao-berço vai além da diminuição do impacto negativo, sugerindo que produtos e serviços passem a ter impacto positivo sobre o ambiente. A partir de princípios de eficácia, ciclo fechado e impacto positivo, foi criada a metodologia *Cradle-to-cradle* (C2C), que oferece um direcionamento diferente do que as políticas ambientais tomaram a partir da ECO-92.

É uma metodologia que pode ser aplicada no desenvolvimento de produtos em qualquer área e para essa pesquisa foi escolhido o setor moveleiro, por ser um setor que trabalha diretamente com matéria-prima florestal – um dos temas centrais do meio ambiente, especialmente relevante no Brasil, que possui 4,2

milhões de quilômetros quadrados de bioma amazônico, um dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade do planeta.

O setor de mobiliário teve grande crescimento a partir do processamento da madeira e sua transformação em painéis, o que facilitou o desenvolvimento da produção seriada e aumento da produtividade. A tecnologia dos painéis está em constante avanço e, hoje, no Brasil, sua produção é quase inteiramente feita a partir de florestas plantadas para esse fim, ocupando grandes áreas, que crescem anualmente para suprir a demanda do mercado.

A principal tecnologia de processamento de madeira hoje gera o MDF, painel de fibra de madeira composto por resina a base de formaldeído, substância classificada carcinogênica pelas principais agências de saúde mundiais. Isso, somado aos revestimentos utilizados nos painéis, impede que tenham o mesmo tratamento da madeira após o descarte.

Considerando a consolidação deste material como matéria-prima para o setor moveleiro, este trabalho tem como objetivo investigar as possibilidades de aplicação da metodologia C2C para o fechamento do ciclo do MDF.

2

Referencial teórico

2.1

Ciclo de vida, regulamentação, e ISO 14.040

A percepção de que a atividade humana pode ter impactos significativos no ambiente favoreceu, nas últimas décadas, o desenvolvimento de políticas e metodologias para melhor compreender e lidar com o tema. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), ou ECO-92 foi um grande marco nesse sentido. O evento, que contou com a presença de mais de cem chefes de estado, representantes da sociedade civil, indústria, e ambientalistas, teve como principais agendas o desenvolvimento sustentável e o aquecimento global (MCDONOUGH, e BRAUNGART, 2002). Um dos resultados das negociações foi a definição da estratégia que regeu a abordagem da indústria mundial sobre a questão nas últimas duas décadas: a eco-eficiência.

Um produto ou serviço eco-eficiente deve, com preços competitivos, satisfazer as necessidades e trazer qualidade de vida. Além disso, deve reduzir impactos ecológicos e a intensidade do uso de recursos através do seu ciclo de vida, de forma alinhada à capacidade de assimilação do planeta (WBCSD, 2006 apud ARRUDA. 2009). Minimizar os impactos ambientais diretos e indiretos em qualquer possível oportunidade (LEWIS; GERTSAKIS, 2001 apud ARRUDA 2009) passou a ser uma das principais estratégias para se atingir a eco-eficiência.

Para identificar as possibilidades de redução, o ciclo de vida dos produtos passou a ser tratado com maior atenção por pesquisadores, empresas e poder público. A Lei de Resíduos Sólidos, nº 12.305/2010, por exemplo, define o ciclo de vida como a série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final. De maneira similar, a International Standards Organization (ISO) considera o ciclo de vida como estágios consecutivos e interligados de um sistema

de produtos, da aquisição de matérias primas ou geração de recursos naturais até o descarte final.

Em 1993, a ISO criou o Comitê Técnico de Gestão Ambiental, TC207, para desenvolver uma série de normas internacionais de gestão ambiental. A série, que recebeu o nome de ISO 14000, aborda diversos aspectos ambientais, como Sistemas de Gestão, Auditoria, Rotulagem, Avaliação de Desempenho, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Terminologia.

Em 1996 foram aprovadas e publicadas as Normas ISO 14001 e 14004, de Sistemas de Gestão Ambiental. No mesmo ano as normas já haviam sido publicadas e traduzidas pela ABNT sob o nome de NBR ISO 14001 e 14004. A ISO 14001 é a única da série que pode ser certificada por uma terceira parte, no caso brasileiro, realizada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). No Brasil, até 2006, dois mil e quinhentos certificados haviam sido emitidos para empresas brasileiras. Para obtenção da certificação as empresas melhoraram seus desempenhos ambientais, o que resultou em redução no consumo de água, energia e matérias-primas, tornando-as mais competitivas (LEMOS, 2012).

Publicada em 1997, a ISO 14040 (Princípios e Estruturas) e a 14044 (Requerimentos e Diretrizes) definem a ACV como uma compilação e avaliação de insumos, produtos e os potenciais impactos ambientais de um sistema de produtos através do seu ciclo de vida. De acordo com a mesma norma: sistema de produtos é a coleção de processos unitários com fluxos elementares e de produtos, que exercem uma ou mais funções definidas, que modelam o ciclo de vida do produto; e matéria-prima o material primário ou secundário utilizado na produção de um produto, e os materiais secundários incluem os reciclados.

A ACV tem aplicação direta: (1) no desenvolvimento e melhoria de produtos, uma vez que com ela se torna possível identificar oportunidades para melhorar a performance ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida; (2) no planejamento estratégico ou criação de políticas públicas, através das informações que podem ser usadas pelos tomadores de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais; (3) na seleção de

indicadores relevantes de performance ambiental, incluindo técnicas de mensuração; e (4) na área de marketing, através de uma reivindicação ambiental, um esquema de rotulagem ambiental ou declaração de produto ambiental, por exemplo (ISO 14040).

Perspectiva de ciclo de vida, foco ambiental, abordagem relativa e unidade funcional, abordagem iterativa, transparência, completude e prioridade da abordagem científica são os princípios que regem uma ACV de acordo com a ISO 14040.

A visão geral do ciclo de vida possibilita que a transferência de ônus entre estágios do ciclo de vida ou processos individuais possa ser identificada e possivelmente evitada.

Aspectos e impactos econômicos e sociais não fazem parte, normalmente, da ACV, no entanto, ela pode ser combinada com outras ferramentas para uma validação mais completa.

A ACV é uma abordagem relativa a um problema, estruturada em torno de uma unidade funcional que define o que está sendo estudado e todas as análises subsequentes, uma vez que insumos e produtos serão quantificados a partir desta. Para comparar o desempenho ambiental de xícaras de porcelana e copos plásticos, por exemplo, a unidade funcional poderia ser 1.000 porções servidas de café. A partir desse dado, o estudo pode prosseguir para a obtenção de dados como consumo de água para lavar xícaras ou combustível usado para transportar os recicláveis até uma usina para escolher o melhor para uma situação específica.

Como as fases individuais de uma ACV utilizam resultados gerados em outras fases, as repetidas iterações dentro e entre fases contribui para a completude e consistência do estudo e dos resultados (ISO 14040).

Por possuir alta complexidade, e para garantir uma interpretação adequada dos resultados, a transparência é um princípio norteador importante na realização da ACV, que também considera todos os atributos ou aspectos do ambiente natural, saúde humana e dos recursos.

Além desses princípios, as decisões numa ACV devem ser preferencialmente baseadas nas ciências naturais, podendo ser utilizadas também outras abordagens científicas como as ciências econômicas ou sociais e convenções internacionais, quando isso não for possível.

A ACV é estruturada em quatro fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto; e interpretação; relacionadas entre si conforme ilustra a Figura 1.

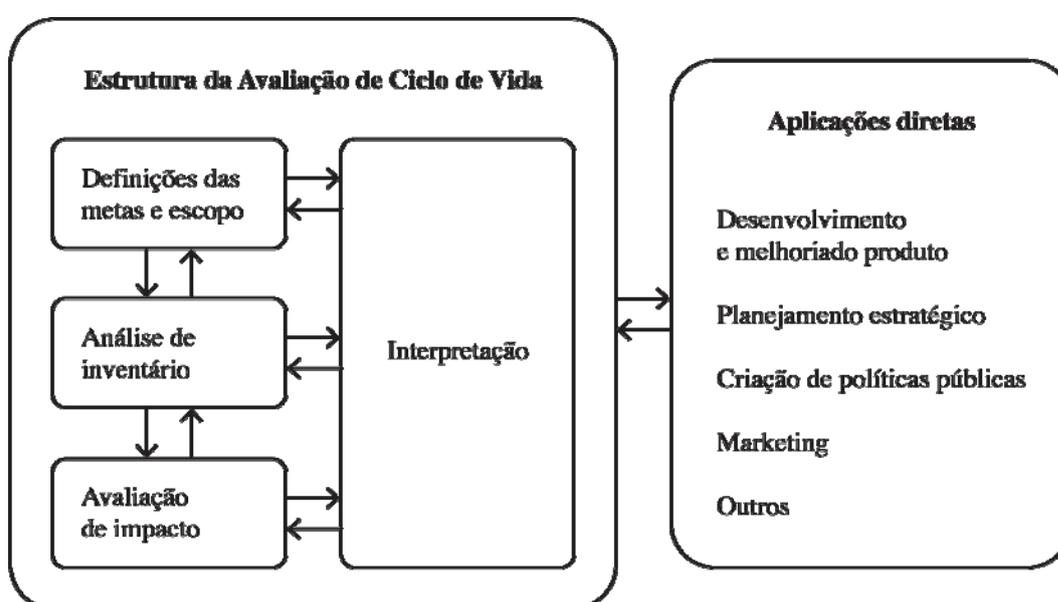


Figura 1: Fases de uma ACV. Fonte: Adaptado de ISO, 2012

A meta descreve a aplicação desejada, as motivações para o estudo, para quem os resultados serão comunicados e se os resultados serão divulgados ao público através de afirmações comparativas. O escopo deve ser definido de forma a garantir abrangência, profundidade e detalhamento compatíveis com a meta declarada. Dessa forma, a abrangência e profundidade da ACV podem mudar consideravelmente, de acordo com seu objetivo (ISO, 2012).

A segunda etapa trata do inventário (Inventário de Ciclo de Vida – ICV) de dados de insumos e produto com relação ao sistema em estudo, envolvendo a coleta de dados e procedimento de cálculo para quantificar insumos e produtos relevantes de um sistema de produtos. Os processos podem ser classificados de

acordo com: insumos energéticos; insumos de matéria-prima; insumos auxiliares e outros insumos físicos; produtos, co-produtos e resíduos; emissões para o ar, despejos para as águas e solo; e outros aspectos ambientais.

A Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) é a terceira fase de uma ACV, em que se estuda a significância dos impactos potenciais através da associação de dados de inventário com categorias de impacto e indicadores de categoria específicos. Esta fase também fornece informações para a interpretação do ciclo de vida. Durante esta etapa, num processo iterativo, verifica-se se as metas e escopo foram satisfeitos, ou se devem ser alterados caso sejam inalcançáveis. Nessa etapa, a transparência torna-se crítica, pois a escolha, modelagem e avaliação de categorias de impacto podem introduzir subjetividade ao estudo.

Os elementos obrigatórios da AICV são: seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; designação de resultados de ICV (classificação); cálculo de resultados indicadores de categorias (caracterização); e resultados indicadores de categoria, resultados de AICV. Tem-se como elementos opcionais: cálculo de magnitude dos resultados relativos à informação de referência (normalização); agrupamento; e ponderação.

A interpretação é a fase da ACV em que resultados da análise de inventário e/ou da avaliação de impacto são resumidos e discutidos. Deve refletir o fato de que os resultados de AICV são baseados em uma abordagem relativa, que indica efeitos ambientais potenciais e que não prevê impactos reais sobre pontos finais de categoria, a extrapolação de limites, de margens de segurança ou risco. Para apresentar as conclusões, explicar limitações, e providenciar recomendações, o resultado desta etapa deve ser completo, consistente e de fácil inteligibilidade, uma vez que tal relatório será o principal instrumento de tomada de decisões relacionadas ao tema em estudo. Além disso, o relatório também serve de base para possíveis reivindicações ambientais que podem ser usadas na comunicação da empresa com o mercado, ou para avaliação de um esquema de rotulagem ambiental.

A Rotulagem Ambiental surgiu a partir da conscientização de consumidores sobre as questões ambientais, com iniciativas nacionais, em geral com a participação de órgãos públicos, para identificar benefícios ambientais em processos e produtos (LEMOS, 2012). A Alemanha foi pioneira nesse sentido, com o selo Blue Angel em 1978, seguida pelos países nórdicos, Canadá, Japão, Estados Unidos, França, Índia, Coréia, Cingapura, Nova Zelândia, União Europeia, e Espanha, que lançaram seus próprios selos entre 1988 e 1993 (LEMOS, 2012). Recentemente foi criada a Global Ecollabeling Network GEN, rede mundial de rotulagem ambiental.

Enquanto alguns programas utilizam como critério as externalidades ambientais ao consumo, como o uso e descarte, outros priorizam externalidades ambientais da produção. Nos países nórdicos, o Nordic Swan considera a avaliação do ciclo de vida para sua concessão (LEMOS, 2012).

As ISO 14020:1998, 14021:1999, 14024:1999, e 14025:2006, definem três tipos de rotulagem, de acordo com o órgão emissor do selo e os critérios utilizados. Num programa de Rotulagem Tipo I (ISO 14024), o selo é concedido a produtos que satisfaçam a um conjunto de requisitos predeterminados pelo órgão emissor do selo. Um dos principais problemas é a diferença entre os critérios adotados pelas diferentes agências certificadoras, que dificulta a comparação entre os produtos sob o mesmo aspecto, e uma avaliação completa do impacto do produto. Outro problema dos selos de Tipo I é que não informam sobre aspectos específicos do produto, treinando o consumidor apenas a procurar pelo selo.

No setor de mobiliário, o Forest Stewardship Council – FSC é um exemplo amplamente difundido. O selo possui dois tipos diferentes de certificação de materiais florestais. O primeiro diz respeito ao manejo da floresta, seguindo critérios ambientais, sociais e econômicos. O segundo certifica a cadeia de custódia, garantindo apenas a rastreabilidade, ou seja, que integra a cadeia produtiva desde a floresta até o produto final (FSC, 2012). Os critérios sociais, no entanto, só se aplicam à certificação de manejo florestal, tornando possível, por exemplo, a obtenção do selo por uma marcenaria com trabalho escravo, desde que utilize madeira certificada.

A Rotulagem Tipo II é composta pelas autodeclarações ambientais, incluindo textos, símbolos e gráficos, no que se refere aos produtos. A ISO 14021 descreve uma metodologia de avaliação e verificação geral para auto declarações, e métodos de verificação para as declarações selecionadas. Esse tipo de declaração oferece informações mais precisas, relevantes e de fácil entendimento para consumidores finais ou na relação entre empresas.

A Rotulagem Tipo III se diferencia das outras duas, pois exige a ACV para ser concedida. Apesar de ser voluntária, por incluir a ACV como pré-requisito, pode se tornar uma barreira comercial para países que não possuem a ACV amplamente difundida, como no caso do Brasil. Alguns países como Malásia e Cingapura possuem bancos de dados mais desenvolvidos, o que torna as análises mais rápidas e baratas (LEMOS, 2012).

A complexidade da ACV pode dificultar sua aplicação, no entanto, em muitos alguns casos, a definição das metas e do escopo de uma ACV podem ser satisfeitas somente pela realização de uma análise de inventário e uma interpretação. Nesses casos, chamados de Estudo de ICV, os recursos mobilizados são menores do que os da ACV (ISO 14040, 2012).

Pelas características citadas acima, a ACV pode ser considerada uma eficaz ferramenta para identificar oportunidades concretas de melhoria na performance de produtos, e a tomada de decisão nesse sentido, que, no longo prazo, pode promover mudanças tecnológicas fundamentais na produção e nos produtos ao efeito multiplicador ao longo da cadeia de produção (LEMOS, 2006).

Além da abordagem da ISO, a questão ambiental também recebe cada vez mais destaque na esfera pública no Brasil. A Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos foi de grande contribuição ao trazer, dentre outros instrumentos e metas, a logística reversa como faceta prática do princípio da responsabilidade pós-consumo, estabelecendo de forma clara a obrigação compartilhada produtores, distribuidores e consumidores sobre o ciclo de vida dos produtos e embalagens. A lei foi regulamentada pelo Decreto 7.404/2010 e propõe melhorar a gestão de resíduos a partir da cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e de mais segmentos da

sociedade; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; e o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social.

Ademais, a lei se presta a traçar objetivos fundamentais, tais como não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; incentivo à indústria de reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados e gestão integrada de resíduos sólidos, dentre outros.

O Art. 54 da lei preceitua que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada em até quatro anos a contar da publicação da mesma, tendo sido este dispositivo regulamentado pelo decreto 7.404 que, por sua vez, proibiu, além dos chamados lixões a céu aberto, o depósito de materiais recicláveis ou de possível reciclagem. Tal vedação tem como objetivo o estímulo dos segmentos industrial e comercial a reintroduzirem esses materiais nos respectivos ciclos produtivos, por meio de reutilização como produto ou como material componente na fabricação de novos produtos, o que ocorreria em detrimento da busca por novos insumos na natureza.

Assim, pela Política Nacional de Resíduos Sólidos todos os participantes da cadeia de produção e de utilização dos produtos, incluídos nestes, os consumidores, serão responsáveis pela destinação final dos resíduos. Como instrumento de viabilização deste objetivo ficou estabelecido o mecanismo da logística reversa, que, inicialmente, pela lei, se restringe a alguns resíduos, mas podendo ser este rol ampliado. A logística reversa consiste em conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor corporativo, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final que seja ambientalmente adequada e se fundamenta na ideia básica de que o fabricante, importador, comerciante ou distribuidor detém mais conhecimento técnico para promover, adequadamente, o recolhimento e tratamento dos produtos inservíveis.

Como mencionado, esta medida já foi implementada em quatro produtos por resoluções do CONAMA: pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes e embalagens de agrotóxicos. De acordo com a lei devem, ainda, ser acrescentados a estes produtos os vidros em geral, eletroeletrônicos, embalagens e quaisquer outros produtos que provoquem impacto ambiental e na saúde pública. A consequência de se atribuir aos mais diversos produtos a sistemática da logística reversa será a responsabilização imediata dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes por sua implantação e cumprimento.

Com a aplicação da Logística Reversa, seja pela política interna das empresas quanto pelos eventuais acordos setoriais firmados entre os segmentos industriais e o poder público, estimulados pela lei, o consumidor passaria a ser obrigado a fazer a devolução dos resíduos sólidos nos locais previamente determinados, tais como o próprio local em que ele adquiriu o produto ou em postos de recolhimento. De acordo com o decreto presidencial, a devolução em comento, estabelecida dentro de cada cadeia produtiva, será definida por um Comitê Orientador ou por onde o próprio setor empresarial estabelecer. O Comitê Orientador, inclusive, estipulará procedimentos a serem adotados para implantação dos sistemas, avaliará os impactos socioeconômicos e poderá tomar medidas de desoneração tributária em prol das cadeias que se sujeitarem à logística reversa.

A medida prescrita no art. 30 da citada lei, que institui responsabilidade compartilhada de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes pelos ciclos de vida dos produtos colocados no mercado, mostrou-se, ainda, extremamente importante para materialização do princípio do poluidor-pagador, que apresenta duas vertentes: a prevenção do dano ambiental; e a reparação de eventual dano provocado. Sendo assim, é de se concluir que aquele que coloca em risco o meio ambiente durante ou após o processo de produção por ele adotado deve se responsabilizar pelos custos decorrentes da necessária proteção.

Destaque-se que, no caso de não observância das disposições contidas na lei em comento, foi prevista responsabilidade nos campos civil e criminal. No âmbito civil, ficou estabelecida a responsabilização objetiva, sem que se exija a

comprovação de dolo ou culpa (art. 51). Na seara penal, destaca-se que foi incluído o inciso I ao §1º do art. 56 da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (lei de crimes ambientais), que prevê a caracterização de crime, punido com pena de reclusão de 01 a 04 anos e multa para quem abandona os produtos ou substâncias considerados perigosos ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança ou manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento.

No caso de a prática decorrer de medida adotada ou omitida por pessoa jurídica, não cabe a aplicação da pena restritiva de liberdade, porém se mostra plenamente aplicável a pena de multa, além das sanções administrativas correspondentes, previstas no art. 8º da Lei nº 9.605/98.

Por fim, importante ressaltar que, para que a Política Nacional de Resíduos Sólidos seja aplicada em sua plenitude, implementando-se de vez a responsabilidade pós-consumo, não basta apenas a regulamentação já realizada, sendo ainda necessário que os Estados e Municípios legislem a respeito da coleta seletiva, adequando-se à nova legislação nacional.

2.2

Cradle-to-cradle (C2C)

Para se referir à metodologia descrita por MCDONOUGH E BRAUNGART (2002), no lugar da tradução literal berço-ao-berço, baseada na expressão berço-ao-túmulo comumente utilizada para descrever o ciclo de vida, será usada a expressão original Cradle-to-cradle, ou simplesmente C2C.

Apesar de compartilhar conceitos com o ecodesign, e poder utilizar a ACV como ferramenta para embasamento de escolhas relacionadas a materiais e processo; o C2C se destaca por ser uma metodologia com princípios mais radicais, com avaliação de resultados através de certificação.

O C2C foge à abordagem tradicional da questão ambiental, como o antagonismo entre indústria e ambiente, a linearidade dos ciclos de vida dos

produtos, a eco-eficiência e a redução como solução ao problema. Seja na emissão de resíduos tóxicos, ou na quantidade de matéria-prima utilizada, a redução para atingir a eco-eficiência não interrompe a depleção e destruição causada no ambiente.

O Quadro 1 foi elaborado a partir de MCDONOUGH E BRAUNGART (2002) e compara a Revolução Industrial e Eco-eficiência a partir de diretrizes imaginadas pelos autores com base em uma avaliação das consequências e impactos ambientais destes eventos.

Quadro 1: Diretrizes para a Revolução Industrial e a Eco-eficiência

Revolução Industrial	Eco-eficiência
Colocar bilhões de quilos de material tóxico no ar, água, e solo, anualmente	Liberar menos quilos de resíduos tóxicos no ar, solo e água anualmente
Medir produtividade pelo menor número de pessoas trabalhando	Mensurar a prosperidade pela redução de atividade
Criar milhares de regulamentações complexas – não para manter as pessoas e os sistemas naturais seguros, mas para evitar que sejam envenenados muito rapidamente	Cumprir milhares de regulamentações complexas para evitar que pessoas e ecossistemas sejam envenenados muito rapidamente
Produzir materiais tão perigosos que precisarão de vigilância constante por muitas gerações	Produzir menos materiais que são muito perigosos e necessitarão de vigilância constante das gerações futuras
Resultar em uma quantidade gigantesca de lixo	Produzir menores quantidades de lixo inútil
Colocar materiais valiosos em buracos por todo o planeta, onde nunca poderão ser recuperados	Colocar menor quantidade de materiais valiosos em buracos no solo, onde nunca poderão ser recuperados
Criar prosperidade cavando ou cortando recursos naturais, para depois queimá-los ou enterrá-los	
Corroer a diversidade de espécies e práticas culturais	

Fonte: Adaptado de MCDONOUGH E BRAUNGART (2002).

De forma abrangente, os processos naturais e criados pelo homem estão inseridos em um sistema fechado que possui dois elementos essenciais: massa (a Terra) e energia (o sol). Ao contrário da energia, a massa está limitada ao que existe no planeta (MCDONOUGH E BRAUNGART, 2002).

Num sistema destrutivo, em que recursos são extraídos, moldados em produtos, vendidos e eventualmente dispostos em algum tipo de túmulo, que pode

ser um aterro sanitário ou um incinerador, a eco-eficiência é uma estratégia que, ao contrário de lograr sucesso, pode permitir que indústrias utilizem todos os recursos de maneira mais discreta e persistente, tendo como consequências um mundo de limites, em que produção e consumo são restringidos. Tais restrições podem ser observadas, por exemplo, em campanhas que estimulam a ideia de redução em campos variados, incluindo o consumo.

Lixo é uma palavra atribuída a materiais que não tem mais uso para uma pessoa, no entanto, este conceito não está presente nos sistemas naturais, que operam de acordo com nutrientes e metabolismos. Enquanto animais expõem dióxido de carbono, plantas o utilizam para o seu crescimento. Cavalos comem grama e produzem esterco, que provê abrigo e nutrição para larvas de moscas. Os principais nutrientes do planeta – carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio – são utilizados em ciclo e reciclados. Até a história recente, este sistema cíclico era o único presente no planeta, em que o crescimento significa mais árvores, mais espécies, maior diversidade, e um ecossistema mais complexo, e o lixo representava nutrientes para outro processo.

Sob esse ponto de vista, fluxos de materiais possuem nutrientes para dois tipos de ciclos: biológicos e técnicos. Enquanto nutrientes biológicos são úteis para a biosfera, os nutrientes técnicos são úteis à tecnosfera, ou o sistema de processos industriais. Produtos podem ser compostos de materiais biodegradáveis que se tornam alimento para os ciclos biológicos, ou de materiais técnicos que permanecem em ciclos técnicos fechados, em que sempre circulam como nutrientes valiosos para a indústria.

Um nutriente biológico, de acordo com MCDONOUGH E BRAUNGART (2002), é um material usado por organismos vivos na manutenção dos processos de crescimento, divisão celular, síntese de carboidratos, e outras funções complexas. Um produto projetado para integrar o ciclo biológico deve poder ser consumido por microorganismos no solo e por outros animais, através do processo de compostagem. A ideia é que esse produto seja composto por materiais que possam ser jogados no solo ou em pilhas de compostagem, e que sejam biodegradáveis de maneira segura após seu uso. A maior parte das embalagens,

que representam até 50% dos resíduos sólidos urbanos, podem ser projetadas como nutrientes biológicos, já que não é necessário que durem décadas ou séculos a mais do que o que o conteúdo transportado.

Um nutriente técnico é um material ou produto projetado para retornar no ciclo técnico, no metabolismo industrial de onde ele surgiu. Sua composição e uso devem permitir que sejam reciclados mantendo sua alta qualidade. Deste modo, uma carenagem de computador feita em plástico, por exemplo, continua a circular como uma carenagem de computador, ou como uma peça de um automóvel, ou como um aparelho médico, ou como outro produto de alta qualidade. A ISO 14044 define este tipo de sistema de produtos como sistemas de ciclo fechado, em que o material do sistema de produtos é reciclado sem mudanças em suas propriedades inerentes. De acordo com o C2C, um material pode ser considerado reciclável quando mantém o mesmo nível de qualidade, e existem pelo menos uma unidade comercial de reciclagem em atividade.

Para que esses dois metabolismos permaneçam saudáveis, é importante evitar a contaminação de um pelo outro. O que entra no metabolismo orgânico não pode conter carcinogênicos, mutagênicos, toxinas persistentes, ou outras substâncias que acumulam nos sistemas naturais com efeitos prejudiciais. Da mesma forma, nutrientes biológicos não são projetados para alimentarem metabolismos técnicos, o que além de ser uma perda para a biosfera, também diminui a qualidade dos materiais, ou torna sua recuperação e reuso mais complicados. A partir desse princípio é essencial uma revisão do destino dado aos resíduos atualmente, como a reciclagem, a incineração, e a disposição em aterros sanitários.

Alguns produtos não se enquadram nem no metabolismo biológico e nem no técnico por conterem materiais perigosos. Estes são chamados de invendáveis ou inegociáveis. Até que seja desenvolvida tecnologia viável para sua desintoxicação (e o retorno de suas moléculas de maneira segura para o uso humano), ou para a substituição dos materiais perigosos, é necessária criatividade para o seu manuseio. Uma possibilidade seria o armazenamento em depósitos com segurança, que poderiam ser gerenciados pelos produtores do material ou

terceirizados. O lixo nuclear é um exemplo de inegociável óbvio. O PET, com antimônio em sua composição, é outro exemplo, que poderia ser armazenado em um depósito até que fosse possível remover os resíduos de antimônio para criar um polímero limpo que possa ser reciclado continuamente de maneira segura (MCDONOUGH E BRAUNGART, 2002).

Encontrar mercado para o reuso de resíduos pode fazer com que empresas e consumidores sintam como se estivessem fazendo o bem ao ambiente, mas na maior parte dos casos o lixo – e as toxinas e contaminantes nele contidos – apenas estão sendo transferidos para outro local. O lodo de esgoto, que é usado como fertilizante, pode adicionar nutrientes ao solo, mas também dioxinas, metais pesados, e antibióticos que não são próprios para o uso como fertilizantes. Sendo assim, pode ser mais seguro manter esses materiais selados em um aterro sanitário.

A reciclagem é outra ideia que deve ser revista. De acordo com MCDONOUGH e BRAUNGART (2002) o que se faz hoje pode ser chamado de *downcycle*. O exemplo do aço usado nos automóveis ilustra bem esse conceito. O aço de alta qualidade utilizado na produção de automóveis é derretido para reciclagem com outras partes do veículo, incluindo cobre e materiais usados na pintura. A liga resultante, de inferior qualidade, não terá as mesmas propriedades do aço, e não poderá ser usada para a produção de novos carros. Além disso, os metais mais raros como o cobre, manganês, cromo, além dos plásticos, tinta e outros componentes que poderiam ter valor segregados, também são perdidos.

Outro exemplo importante de se citar é o do alumínio, que frequentemente é *downcycled*. Nas latas de bebidas, enquanto as paredes são compostas por uma liga de alumínio, manganês, um pouco de magnésio, e a tinta, a parte superior, mais dura, é composta por alumínio e magnésio. No processo tradicional de reciclagem, os materiais são fundidos em um só, resultando em um material mais fraco e com menor possibilidades de aplicação.

A perda dos materiais não é a única preocupação quanto a esse processo. *Downcycle* aumenta a contaminação da biosfera. Tintas e plásticos fundidos no aço reciclado contêm elementos químicos nocivos. Os fornos de reciclagem

secundária de aço para a construção civil são, hoje, uma grande fonte de emissão de dioxinas – um efeito colateral inusitado para um processo supostamente ambiental (MCDONOUGH E BRAUNGART, 2002). Além disso, para que os materiais *downcycled* possam melhorar sua performance, normalmente possuem mais aditivos que o material virgem, o que também pode aumentar seu custo. O papel, por exemplo, por não ter sido projetado para a reciclagem, precisa de uma quantidade grande de alvejantes para retornar a cor branca. O resultado pode conter produtos químicos, polpa e algumas tintas tóxicas, que não são apropriados para o uso. As fibras mais curtas, por exemplo, possibilitam uma quantidade maior de partículas suspensas pelo ar, que podem causar irritação nas passagens nasais e nos pulmões por conterem uma quantidade maior de aditivos nocivos.

Os usos alternativos também devem ser vistos com grande atenção, apesar das boas intenções. O uso de uma roupa feita a partir de plástico reciclado pode parecer uma escolha ecológica, no entanto, como o plástico não foi projetado para o contato com a pele, pode gerar um contato desta com materiais nocivos como antimônio, catalisadores, estabilizadores, plastificantes e antioxidantes.

Em todos os casos, a agenda da reciclagem substituiu outras considerações de design. Um material não passa a ser ecologicamente benigno apenas porque foi reciclado, especialmente se ele não foi projetado para isso. Adotar cegamente abordagens ambientais superficiais sem o completo entendimento dos seus efeitos pode ser pior do que não fazer nada (MCDONOUGH E BRAUNGART, 2002).

A incineração é, muitas vezes, percebida como mais saudável do que a deposição em aterro, e é elogiada por defensores de eficiência energética como "lixo à energia". No entanto, resíduos em incineradores queimam apenas porque materiais valiosos, como papel e plástico, são inflamáveis. Uma vez que esses materiais nunca foram projetados para serem queimados com segurança, eles podem liberar dioxinas e outras toxinas quando incinerados. Em Hamburgo, Alemanha, folhas de algumas árvores contêm concentrações tão altas de metais pesados advindos de incineradores da região, que as folhas em si deve ser queimadas, efetuando um círculo vicioso, com duplo efeito: materiais valiosos,

tais como os metais, bioacumulam na natureza para possível efeito nocivo, e se perdem para sempre das indústrias.

Uma forma considerada segura de disposição final, hoje, é o aterro sanitário, que mantém os resíduos isolados do seu entorno. No entanto, o crescimento das montanhas de lixo nos aterros é uma preocupação crescente. O espaço que ocupam não é o maior dos problemas do design do berço ao túmulo, mas sim, a perda de valiosos nutrientes – técnicos e biológicos – que são contaminados e perdidos. E não são perdidos apenas pela falta de mecanismos para sua recuperação, mas também porque muitos deles são misturas de materiais dos dois tipos, que não podem ser recuperados após seu uso.

Em um aterro sanitário típico, para disposição de resíduos sólidos urbanos, podem se encontrados móveis velhos, estofamentos, carpetes, televisões, roupas, calçados, telefones, computadores, produtos complexos, embalagens plásticas; assim como materiais orgânicos como fraldas, papel, madeira e restos de alimentos. A maioria desses produtos é composta de materiais valiosos, que necessitaram de esforço e investimento para sua extração e produção, representando bilhões de dólares em bens materiais. Os materiais biodegradáveis como restos de alimentos e papel também tem grande valor, pois poderiam ser decompostos, retornando os nutrientes biológicos para o solo. Infelizmente, todo esse material está amontoado nos aterros sanitários, onde seu valor é desperdiçado.

Para que outro cenário seja prático, é necessário introduzir um conceito que está muito vinculado à noção de nutrientes técnicos: o conceito de produto de serviço. Há muito pouco que os consumidores consomem de fato nos produtos: comida, bebida, música, deslocamento. No lugar de assumir que qualquer produto deve ser comprado e descartado pelos consumidores, produtos que contêm valiosos nutrientes técnicos – carros, televisores, carpetes, computadores, refrigeradores – devem ser reconcebidos como serviços que as pessoas desejam desfrutar. Nesse cenário, clientes ou usuários efetivamente comprariam o serviço que esses produtos oferecem por um período de tempo, como por exemplo, dez mil horas assistindo televisão, no lugar da compra do próprio aparelho. Não

estariam pagando por materiais complexos com os quais não saberão lidar após o uso do produto. Quando não o quisessem mais, ou quisessem simplesmente fazer uma atualização para uma versão mais nova, o fabricante o substituiria, pegando de volta o modelo anterior para desmontá-lo e usar seus complexos materiais como insumos para um novo produto.

Os clientes receberiam o serviço pelo tempo que quisessem e fabricantes poderiam continuar a crescer e se desenvolver, mantendo a propriedade dos seus materiais. Nesse cenário, pessoas podem suprir sua necessidade de novos produtos com a frequência que quiserem, sem culpa; e a indústria pode encorajar esse comportamento, sabendo que os dois lados apoiam o metabolismo técnico nesse processo.

Atualmente, a ideia de que a redução também deve ser acolhida pela sociedade consumista e materialista: compre menos, gaste menos, dirija menos, tenha menos filhos etc, prevendo um mundo de restrições e limites.

Projetar produtos de serviços significa projetá-los para a desmontagem. Produtos não precisam durar mais do que um período definido de tempo, assim como na natureza. Essa durabilidade poderia ser vista, inclusive, como uma tirania intergeracional, já que não é possível afirmar que as próximas gerações desejarão que as coisas durem eternamente, como são feitas pela sociedade atualmente.

Uma vez implementado, esse sistema apresenta três principais vantagens: não produziria resíduos inúteis e potencialmente perigosos; representaria aos fabricantes uma economia de bilhões de dólares em valiosos materiais ao longo do tempo; e, pelos nutrientes para novos produtos estarem em constante circulação, diminuiria a extração de matéria-prima bruta (como petroquímicos) e a fabricação de potenciais materiais perturbadores, como o PVC, resultando em grande economia para fabricantes e enormes benefícios para o ambiente.

Para avaliar a aplicação desses conceitos, foi criada a certificação C2C, que hoje integra uma rede internacional composta por quatro principais instituições: *Environmental Protection Encouragement Agency* (EPEA); *McDonough Braungart Design Chemistry* (MBDC); *Cradle to Cradle Product Innovation Institute*; e *McDonough + Partners*.

O programa de certificação *Cradle to Cradle Certified* foi fundado em 2005, pelo MBDC. Em 2010, para gerenciar e administrar o programa de certificação como uma organização independente sem fins lucrativos, foi fundado o *Cradle to Cradle Product Innovation Institute*. O MBDC licenciou com exclusividade para o Instituto o selo e a metodologia para certificação.

O protocolo utilizado é compatível com padrões estabelecidos pelo *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, *Carbon Disclosure Project*, *GEMI*, *World Resources Institute*, *Greenhouse Gas Protocol*, *UN Aquastat*, *Green Screen*, *Social Hotspots*, entre outros. Além disso, o *C2C Certified* utiliza, em algumas categorias, outras certificações como base para sua avaliação.

Qualquer produto ou material de uma indústria que é comercializado para consumidores ou outra empresa é aceito pelo programa e os critérios de avaliação são os mesmos para todos os tipos de produtos. Entendendo que são necessários alguns passos na trajetória do C2C, o programa possui quatro níveis de certificação que refletem um processo de melhoria contínua: Básico; Prata; Ouro; e Platina. Para que um produto seja certificado em um dos níveis, deve atingir os critérios mínimos para este nível em todas as cinco categorias avaliadas: Segurança de materiais; Reutilização de materiais; Uso de energias renováveis; Gestão da água; e Responsabilidade social.

Para avaliar a segurança dos materiais utilizados, o programa examina cada substância que constitui um produto, de acordo com dezenove critérios relacionados a saúde humana e ambiental, e atribui um grau de toxicidade (vermelho, amarelo ou verde). Ao invés de apenas medir as emissões de substâncias nocivas, o C2C favorece a exclusão de componentes nocivos em um processo que supera as regulamentações ambientais e evita os riscos de não se conhecer direito a composição de um produto.

A reutilização de materiais está relacionada ao conceito de ciclos fechados e à inexistência de lixo. Nesse sentido, o C2C promove a reciclabilidade, recompensando produtos que contenham materiais recicláveis ou renováveis e que sejam projetados para a recuperação desses materiais em outros ciclos de vida.

Para obtenção da certificação nos níveis mais altos, fabricantes devem desenvolver e implementar uma estratégia para fechar o ciclo do produto avaliado.

Considerando que o fenômeno de mudanças climáticas demonstra os problemas econômicos e ambientais associados a uma matriz energética dependente de combustíveis fósseis, a avaliação do uso de energias renováveis tem como objetivo incentivar fabricantes e seus fornecedores a gerenciar suas emissões de carbono de forma mais eficaz. De acordo com C2C, o carbono não deve ser visto como algo negativo ou destrutivo, e sim, como um recurso que deve retornar às florestas ou ao solo.

O objetivo da gestão da água é incentivar fabricantes a considerar a água como um recurso valioso. Apesar de parecer barata, abundante, e renovável, apenas 3% da água no mundo é usável e, a não ser que a mesma quantidade utilizada retorne aos aquíferos, não pode ser considerada um recurso renovável.

Finalmente, a diversidade é um dos princípios centrais do C2C, e se reflete diretamente na avaliação da responsabilidade social. As empresas devem adotar um conjunto de princípios que consideram práticas justas de trabalho, ética empresarial e pessoal, relacionamento com fornecedores e relacionamento com a comunidade. Nos níveis Ouro e Platina, fabricantes devem apresentar um certificado de uma entidade externa voltada à fiscalização do trabalho justo ou da responsabilidade social.

Refletindo todos os conceitos do C2C, o processo de certificação estabelece uma forma objetiva de avaliação da aplicação desses princípios.

2.3

Substituição da madeira maciça

O *Cradle-to-cradle* é uma metodologia que pode ser aplicada no desenvolvimento de produtos em qualquer área e para essa pesquisa foi escolhido o setor moveleiro, por trabalhar diretamente com matéria-prima florestal. A floresta é um dos temas centrais do meio ambiente, especialmente relevante no

Brasil, que possui 4,2 milhões de quilômetros quadrados de bioma amazônico, um dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade do planeta (BRASIL, 2008).

A indústria brasileira de mobiliário é composta por mais de 16 mil empresas de diferentes portes, que geram mais de 273 mil empregos diretos. A grande maioria, 12 mil, é de microempresas, com até 9 empregados, e apenas 312 são grandes empresas, com mais de 100 empregados. As empresas são familiares, tradicionais, de capital inteiramente nacional, e recentemente, em alguns setores específicos como o de escritórios, há entrada de empresas estrangeiras (ABIMÓVEL, 2006). O faturamento estimado do setor em 2011 foi de R\$ 29,96 bilhões (ABIMÓVEL, 2012), distribuídos nas áreas de móveis residenciais (60%), de escritório (20%) e institucionais, escolares, médico-hospitalares, restaurantes, hotéis e similares (20%) (ABIMÓVEL, 2006).

O consumo de móveis cresceu 4,3% de 2010 para 2011, e é considerado o de melhor desempenho no mercado moveleiro, principalmente quando comparado ao consumo no varejo geral, que cresceu 1,6% no mesmo período. Para 2012, estima-se um crescimento similar para o setor, na faixa de 4% (ABIMÓVEL, 2012). Em parte, o desempenho se deve ao apoio do governo através do programa de IPI Zero para a indústria moveleira, que gerou incremento de 6% a 8% durante sua vigência (ABIMÓVEL, 2012).

O segmento de móveis de madeira é o maior, concentrando 91% dos estabelecimentos, 83% dos empregos e 72% do faturamento do setor, com a produção voltada para o mercado interno, principalmente para as regiões Sul e Sudeste do país (ABIMÓVEL, 2004).

A madeira é um material natural extraído dos troncos das árvores. A árvore é um organismo vivo, um vegetal de grande porte, com raízes pivotantes, caule lenhoso do tipo tronco, que forma ramos bem acima do nível do solo e que se estendem até o ápice da copa.

As árvores desempenham funções essenciais para o seu ambiente, incluindo o aumento da penetração de água no solo para alimentação de lençóis freáticos, a produção de alimento para animais, moradia para diversas espécies de animais, de insetos a mamíferos, além da liberação de oxigênio enquanto estão

acumulando matéria orgânica sintetizada através da fotossíntese – quando adultas a produção e consumo é equilibrada. O dossel florestal, composto pela copa das árvores, abriga grande parte da vida das florestas tropicais.

A madeira é extraída da floresta em toras, que são fundamentalmente os troncos cortados e descascados. Os ramos ou galhos, por serem irregulares, normalmente não são utilizados. As propriedades da madeira dependem da árvore de que foi extraída, podendo variar de densidade, flexibilidade, tonalidade, entre outros atributos, e da técnica utilizada para o corte do tronco.

O método de corte da tora, também chamado de conversão, pode ser do tipo simples, radial, medular ou de pranchão. Às vezes, uma tora de grande diâmetro é cortada primeiro em quadrantes e, depois, cada quadrante é cortado de uma forma diferente. A Figura 2 ilustra quatro métodos de conversão de uma tora cortada em quadrante. Na mesma figura é possível observar a perda de material lenhoso proveniente do aproveitamento da tora.

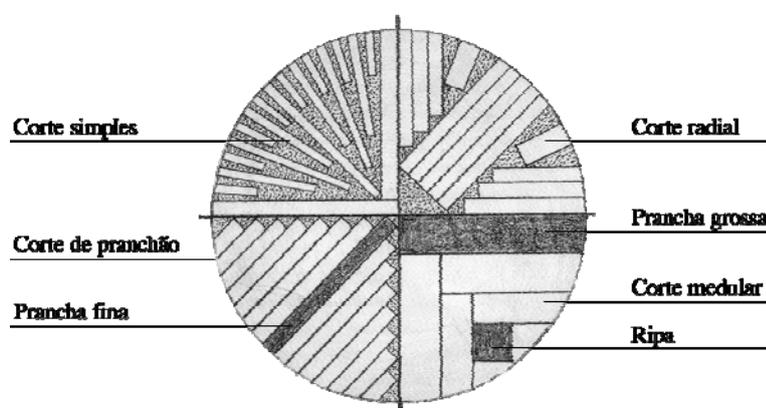


Figura 2: Métodos de conversão da madeira. Fonte: RAMUZ, 2001

A presença de veios, diretos ou reversos, constitui característica que pode atribuir grande interesse estético às peças de madeira. Também contribuem para uma imagem interessante da madeira as marcas da diferença entre o crescimento inicial e tardio, a cor, e a formação de ondulações e nós. O tamanho de suas células resulta em uma textura mais fina ou mais aberta.

Após o corte, a madeira ainda precisa passar por um processo de secagem, para que a umidade presente nos poros e células possa ser removida. Para madeiras utilizadas em ambientes externos é aceitável uma umidade de 16%. Para ambientes internos, a umidade deve ser reduzida para 8% ou menos. Utilizando o método tradicional de secagem ao ar, uma prancha de 25 mm de espessura leva um ano para atingir 16% de umidade. Para reduzir a umidade abaixo desse nível é necessário o processo mecânico, em fornos, que deve ser controlado para evitar o surgimento de fendas, falhas, ou empenamento.

Algumas madeiras possuem resistência natural aos ataques de fungos e insetos, outras necessitam de um tratamento com conservantes para maior resistência. Normalmente, a madeira úmida, macia, ou que não teve a casca retirada é mais suscetível a esses ataques. A idade da árvore também está relacionada a alguns tipos de defeito, como fendas centrais e circulares, e nós soltos. Em geral os defeitos impedem o uso da parte atingida. A Figura 3 ilustra os principais defeitos encontrados na madeira maciça.

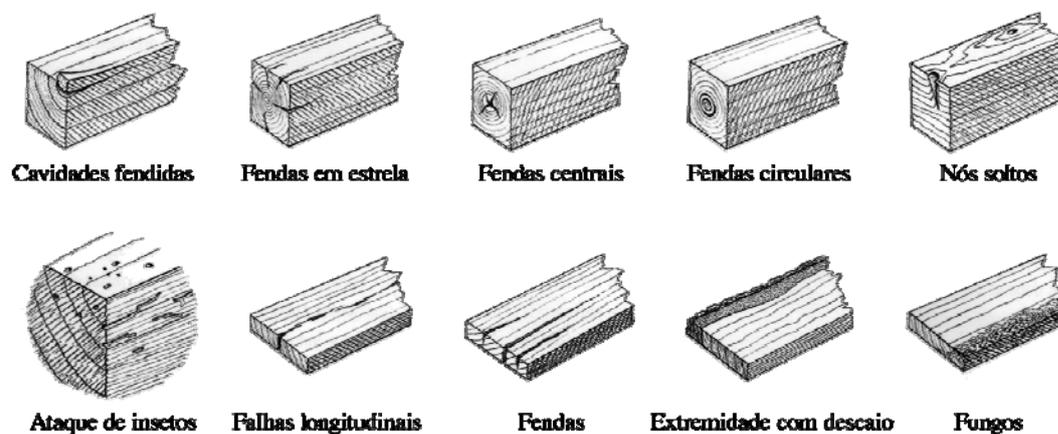


Figura 3: Principais defeitos encontrados na madeira maciça. Fonte: RAMUZ, 2001

A manufatura de produtos madeireiros consome menor quantidade de energia do que a produção de aço, plástico, alumínio e materiais à base de cimento. Além disso, trata-se de uma matéria-prima renovável, que possui alta resistência em relação à massa específica e boa trabalhabilidade (MENDES, 2005). Essa facilidade permitiu que a marcenaria tradicional desenvolvesse grande variedade de encaixes, alguns apresentados na Figura 4, que conferem valor estético e maior durabilidade para as peças.

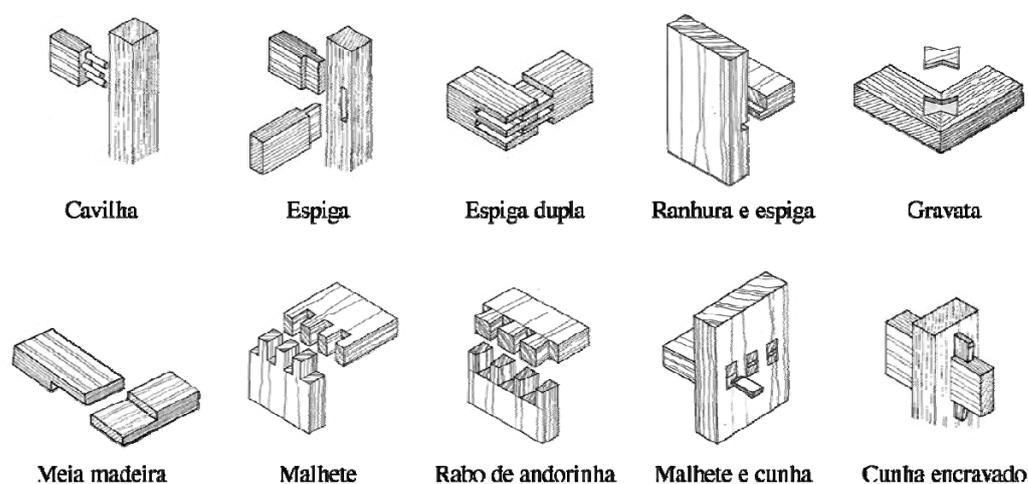


Figura 4: Algumas técnicas de trabalho com madeira. Fonte: Acervo do autor, 2012

Para compreender melhor como é utilizado o material no setor moveleiro, foi realizada visita à uma marcenaria tradicional no Rio de Janeiro, que utiliza a madeira maciça como matéria-prima principal. Os equipamentos utilizados são de baixa complexidade, como: desengrosso, usado para diminuir a espessura das pranchas; serra circular, usada para fazer cortes retos; serra de fita, para cortes curvos; torno, para peças torneadas; tupia, para usinagens; lixadeira, para acabamento; além de ferramentas manuais. O trabalho, apesar de não necessitar de equipamentos mais modernos, é muito intensivo em mão-de-obra, que precisa ser bem capacitada e possuir experiência para realizar trabalhos de alta qualidade. As Figuras 5 e 6 ilustram algumas destas etapas.

Na mesma marcenaria foi possível observar o encaixe em uso.



Figura 5: (a) Estoque (b) Serra circular (c) Desenho de peças (d) Peças.

Fonte: Acervo do autor, 2012.



Figura 6: (a) Peças (b) Veios (c) Acabamento (d) Detalhe cunha.

Fonte: Acervo do autor, 2012.

Enquanto trabalhada sob a forma de peças serradas, a madeira apresenta excelentes propriedades, mas também alta heterogeneidade, da qual deriva uma boa parte das falhas de comportamento.

Visando minimizar estes defeitos foram desenvolvidos processos capazes de reestruturar a madeira como material e torná-la mais homogênea. Reduzindo a madeira a fragmentos cada vez menores e reagrupando-os com adesivos, uniformiza-se grande parte das características do produto.

A estrutura da madeira processada e reorganizada apresenta várias características satisfatórias, tais como maior homogeneidade no comportamento físico e mecânico e melhoria das propriedades tecnológicas; possibilidade de se confeccionar peças de grandes dimensões requisitadas pela indústria; e aproveitamento de maior parte do material lenhoso de uma árvore. A escassez de madeira na Europa contribuiu para o desenvolvimento do material após a II Guerra Mundial.

Os principais painéis utilizados pela indústria de mobiliário podem ser divididos em dois grupos: os de madeira processada mecanicamente, como é o caso do compensado; e os de madeira reconstituída, como a chapa de fibra dura ou *hardboard*, o aglomerado ou *medium density particleboard* (MDP), e o *medium density fiberboard* (MDF). Apesar dos primeiros painéis compensados terem surgido em 1913, apenas em 1940 passaram a ser produzidos no Brasil conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2: Industrialização dos painéis de madeira reconstituída

Painéis	Mundo	Brasil	Empresas produtoras no Brasil
Compensado	1913	1940	n/d
Chapa de fibra	1930	1955	Duratex, Eucatex
Aglomerado/MDP	1950	1966	Berneck, Bonet, Duratex, Eucatex, Satipel, Placas do Paraná, Seta, Tafisa
MDF	1970	1998	Duratex, Eucatex, Masisa, Tafisa

Fonte: LIMA, 2005

O compensado é composto por lâminas dispostas uma sobre a outra alternando em 90° o sentido das fibras, para criar um efeito compensatório nos esforços de flexão exercidos sobre o painel, o que confere grande estabilidade dimensional e uniformidade das propriedades mecânicas nas duas direções dos planos da chapa (MAFFEISSONI, 2012). Começou a ser produzido no Brasil na década de 40 e, até o final dos anos 60, era o principal material disponível para substituição da madeira maciça. Os tipos mais utilizados pela indústria de mobiliário são o compensado multilaminado ou *plywood*, o sarrafeado ou *blockboard*, e de madeira maciça ou *three-ply*. O compensado pode ser produzido em diversas espessuras e possui aproveitamento na razão 2,3 m³ de tora por metro cúbico de material produzido (FAO, 1968). Seu segmento é formado por um grande número de empresas, localizadas na Região Norte, utilizando madeira tropical de mata nativa, e na Região Sul, utilizando madeira de florestas plantadas, principalmente de pinus (BNDES, 2010).

O *plywood* possui sempre número ímpar de lâminas e os veios das lâminas das faces devem ter os veios dispostos no sentido longitudinal da chapa. A resina usada em sua colagem pode ser a uréia-formaldeído, quando for de uso interno, ou fenol-formaldeído, para uso externo. O *blockboard* é composto por lâminas nas faces e sarrafos de madeira na camada interna e, por isso, apresenta maior resistência à flexão no seu comprimento. O *three-ply* é composto apenas por sarrafos de madeira, em três camadas cruzadas, coladas lateralmente com adesivo à base de PVA.

Os painéis de madeira reconstituída são obtidos a partir da desagregação da madeira e sua aglutinação pela ação de pressão, temperatura, e resinas – essenciais para o desenvolvimento da tecnologia. Diferentes estágios de desagregação produzem diferentes tipos de material.

Criado a partir de partículas de madeira, o aglomerado surgiu no mercado no final dos anos 60 como alternativa ao compensado e, apesar de ter provocado uma revolução no setor moveleiro (ABIMÓVEL, 2006), ficou com a imagem de um material de baixa qualidade para o mercado interno. É o produto mais consumido no setor mundialmente (BNDES, 2010), e no final dos anos 90, com o

objetivo de melhorar sua qualidade, passou por mudanças relevantes, como a utilização de partículas de tamanhos diferentes nas faces. No mesmo período passou a ser chamado de MDP. De acordo com BNDES (2010), o material atinge a razão 1,32 m³ de tora por metro cúbico de material produzido.

O MDF é produzido a partir do último estágio de desagregação da madeira, em fibras. Passou a ser produzido no Brasil apenas no final dos anos 90, e possui aproveitamento na razão 1,33 m³ (MASISA, 2012) a 1,74 m³ (BNDES, 2010) de tora por metro cúbico de material produzido. Por utilizar mais matéria-prima florestal, tem o custo aproximadamente 30% maior que o do MDP, porém, suas características como estabilidade dimensional, consistência e capacidade de usinagem são mais próximas às da madeira maciça.

Este trabalho abordará apenas o uso do MDF e o MDP, pois estes possuem processos de fabricação similares e são utilizados em maior escala no setor moveleiro. O *high density fiberboard* (HDF), variação do MDF que possui fibras mais refinadas e maior densidade, tem custo mais elevado, sendo mais utilizado na construção civil para pisos laminados, portas e divisórias (ABIPA, 2012). As chapas de fibra utilizam o processo de prensagem úmida em alta temperatura, que reativa aglutinantes naturais da própria madeira e dispensa o uso de resinas sintéticas (ABIPA, 2012). Além de ser produzida em menor escala, tendo seu uso limitado a fundos de armários ou fundos de gaveta, a tendência é que seja substituída pelo HDF (BNDES, 2010).

O uso de painéis de madeira impulsionou a produção seriada no setor, favorecendo a adoção de linhas retas nos chamados móveis retilíneos e o crescimento dos polos moveleiros (LIMA, 2005). No Brasil, exceto por uma unidade instalada em Paragominas, Pará, as indústrias de painéis estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste do país (ABIPA, 2012). O fenômeno da formação dos polos, que se repete no âmbito internacional, ocorre devido às baixas margens alcançadas pelo setor, o que dificulta a incorporação ao preço de venda de valores de frete para grandes distâncias (BNDES, 2010). Isso ocorre principalmente no comércio de painéis de madeira reconstituída, observando-se, no caso do compensado, um volume maior de transações entre diferentes regiões.

Os principais polos moveleiros se concentram na região centro-sul do país, respondendo por 90% da produção nacional e 70% de toda a mão-de-obra empregada no setor (BNDES, 2002). Alguns exemplos estão listados no Quadro 3.

Quadro 3: Polos moveleiros no Brasil

Polo	Estado	Empresas	Empregados
Bento Gonçalves	RS	370	10.500
São Paulo (região metropolitana)	SP	3.000	9.000
Votuporanga	SP	210	8.500
São Bento do Sul	SC	210	8.500
Arapongas	PR	150	7.980
Mirassol	SP	85	7.400
Ubá	MG	310	3.150
Linhares e Colatina	ES	130	3.000

Fonte: Adaptado de ABIMÓVEL, 2006

Além das vantagens de uso relacionadas ao melhor aproveitamento da matéria-prima florestal, os painéis possuem outras vantagens para a indústria de móveis, entre elas a possibilidade de melhor aplicação de aditivos na etapa de secagem das fibras ou partículas, a variedade de revestimentos oferecida pelas indústrias de painéis e a facilidade de aplicação de outros tipos de acabamento.

Os principais aditivos utilizados são: catalisadores, que aumentam a velocidade de polimerização e cura da resina; emulsão de parafina, agente hidrofóbico que também melhora a estabilidade dimensional dos painéis; retardantes de fogo; e produtos contra insetos e fungos.

Quanto aos revestimentos, que podem ser aplicados pela indústria de painéis ou na fabricação dos móveis, FRANCO (2010) e ABIPA (2012) destacam: (a) laminado plástico, composto por três camadas de papel impregnados de resina fenólica aplicadas em alta temperatura; (b) laminado decorativo de alta pressão, que, como a anterior, possui três camadas, porém utiliza formaldeído na camada

intermediária, e resina melamínica na externa; (c) laminado de baixa pressão, composto por lâmina celulósica impregnada com resina melamínica, que é fundida ao painel através de alta temperatura e pressão, e aceita texturas; (d) laminado tipo *finish foil*, que por meio de pressão e temperatura aglutina ao painel uma folha de papel impressa e com uma camada de verniz; (e) lâmina de madeira natural, que possui difícil aplicação pela variação de tamanho, cor e textura.

Além disso, os painéis também podem ser comercializados crus, para aplicação de acabamentos de superfícies utilizados na madeira, como tintas e vernizes, detalhadas no Quadro 4, abaixo.

Quadro 4: Vantagens e desvantagens de acabamentos para madeira

Acabamento	Vantagens	Desvantagens
Base d'água	Baixo conteúdo de VOC; limpeza de equipamento com água e sabão; menor volume de material para estocar; diminuição de custos com seguro (perigo de fogo eliminado); mais barato que os acabamentos convencionais; durável	Necessita de um equipamento resistente à corrosão; necessita de um melhor controle de temperatura e umidade; a superfície deve estar livre de óleos; necessita de movimento de ar ou calor para facilitar a secagem
Poliéster e poliuretano	Alto brilho; muito durável; baixo conteúdo de VOC	Dificuldade de reparo; requer um ambiente limpo
Ultravioleta (UV)	Baixo custo de energia; baixíssimo conteúdo de VOC; muito durável, secagem rápida	Custo alto; dificuldade de cura em peças irregulares; limitada para acabamentos claros e superfícies lisas
Nitrocelulose	Método já estabelecido; secagem rápida; fácil reparo	Tóxico e inflamável; alto conteúdo de VOC; média durabilidade

Fonte: EPA/ Sedesol Pollution Prevention Work Group (1994) apud LIMA, 2005

Há, ainda, a possibilidade criada recentemente, de tingimento da massa do MDF. Foram encontradas duas indústrias que produzem e comercializam o material tingido de diversas cores, não sendo necessário acrescentar revestimento de superfície e possibilitando a usinagem sem mudança na cor (VALCHROMAT, 2012; WINWOOD, 2012). Foi realizado contato com a empresa, instalada em Portugal, visando à obtenção de mais informações sobre o processo de produção, porém não se obteve retorno.

O MDF e o MDP apresentam uma série de vantagens para a indústria de mobiliário e a ABIMCI (2008) afirma que são os principais responsáveis pela retração do consumo de compensado no setor. Nos próximos anos o consumo do compensado deve continuar sendo deslocado pelo consumo de MDF e MDP (BNDES, 2010). No mesmo sentido, a ABIPA (2012) apresenta previsões de um aumento da capacidade de produção brasileira de 9,1 milhões de metros cúbicos em 2010 para 10,9 milhões de metros cúbicos em 2014, com investimentos na ordem de US\$ 1,2 bilhões, mostrando uma consolidação deste material no mercado atual.

O crescimento do setor pode, no entanto, ser prejudicado pela falta de matéria-prima florestal. O Brasil possui 500.000 hectares de áreas destinadas ao plantio de eucalipto e pinus (ABIPA, 2012). No Paraná, a demanda de pinus cresceu 6%, enquanto a oferta aumentou somente 1% (PIMENTEL, 2004). Em Arapongas estão sendo feitos investimentos em um viveiro de mudas com previsão de plantio de 600 mil mudas anuais em 400 hectares de área. A expectativa é tornar o polo autossuficiente em questão de matéria-prima florestal, em um prazo de 15 a 20 anos (SIMA, 2004).

2.4

Formaldeído

MDF e MDP são compostos por fibra e partícula de madeira, respectivamente, aglutinada com resina uréia-formaldeído. O formaldeído é um produto químico de uso comum atualmente. Sua fórmula molecular é H_2CO , sendo o aldeído mais simples, e seu nome oficial IUPAC é metanal. Entre suas principais aplicações estão o uso: como matéria prima para produtos químicos; como agente esterilizante; como agente preservante de produtos cosméticos e de limpeza; para embalsamação e conservação de cadáveres e peças anatômicas; e para produção de resinas uréia-formol, fenol-formol e melamínica.

A National Fire Protection Association (NFPA), organização não-governamental norte americana fundada em 1896 tem como objetivo a redução do impacto negativo na qualidade de vida causado por incêndios e outros perigos,

fornecendo códigos, rotulagem, pesquisa, treinamento e educação. O diagrama de Hommel, utilizado no código NFPA 704, também conhecido como diagrama de risco, expressa diferentes tipos de risco através de quatro cores, e em graus que variam de 0 a 4. As cores vermelho, azul, amarelo e branco, significam, respectivamente, inflamabilidade, risco à saúde, reatividade, e riscos específicos. A Figura 7 representa o formaldeído em solução.

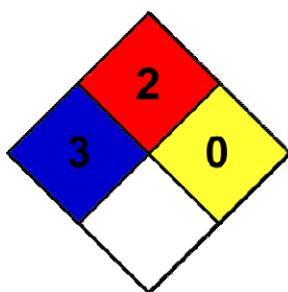


Figura 7: Diagrama de Hommel do formaldeído em solução. SUPERQUIMICA, 2011

O grau 2 para inflamabilidade representa que a substância precisa ser moderadamente aquecida ou exposta a uma temperatura ambiente relativamente alta antes que alguma ignição possa ocorrer – ponto de fulgor entre 38°C e 93°C. O grau 3 para risco à saúde significa que a exposição curta pode causar sérios danos residuais temporários ou permanentes. Em relação à reatividade, o grau 0 quer dizer que a substância é normalmente estável, mesmo sob condições de exposição ao fogo, e não é reativo com água. Além disso, o diagrama não indica risco específico.

A uréia-formaldeído, utilizada por 90% da indústria por seu baixo custo (MAFFESSIONI, 2012), tem como característica a liberação na atmosfera do gás de formaldeído durante sua manipulação na indústria e durante o armazenamento e o uso dos produtos resultantes do seu processo de colagem (NESTLER, 1977). O problema passou a ganhar mais atenção com o uso extensivo de painéis em ambientes internos, residenciais ou comerciais, a partir da concentração alta do vapor de formaldeído que causa incômodo, desconforto, ou até mesmo problemas de saúde, não havendo consenso sobre seu potencial mutagênico e carcinogênico (NESTLER, 1977).

Editado em janeiro de 1977 pelo Laboratório de Produtos Florestais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, o documento chamado “O Problema do Formaldeído” reúne bibliografia sobre os principais aspectos relacionados ao uso da substância na produção de painéis de madeira industrializada: origem do problema; análises; controle e remoção; toxicidade; odor; e métodos de controle de odor. O fato de o documento ter sido editado por um órgão governamental indica o interesse público pela questão.

À época, a resina uréia-formaldeído já era utilizada na produção de compensados e aglomerados e nota-se que por ser um problema inerente ao produto, dificilmente seria possível, para o consumidor final, eliminar o problema. Sendo assim, a solução deveria ser focada durante sua produção industrial.

O artigo intitulado “Investigations on the formaldehyde liberation during the manufacture of particleboard with urea formaldehyde adhesives” (PETERSON, 1972) lista os principais fatores que influenciam a liberação de formaldeído durante o processo de fabricação e armazenamento: proporção de uréia e formaldeído no adesivo; quantidade de formaldeído livre no adesivo; umidade das partículas de madeira; quantidade e tipo de catalisador; quantidade de resina aplicada; temperatura durante compressão; e tempo de compressão.

O artigo intitulado “Causes and the control of formaldehyde odor from wood-based building materials, especially particleboards” (NEUSSER, 1968), por exemplo, aborda: os efeitos do odor do formaldeído em humanos; a importância da ventilação nos ambientes; formaldeído livre nas resinas de uréia; emissão de formaldeído durante a prensa quente; quantidade de formaldeído após a prensa; emissões durante longos períodos; entre outros.

O artigo intitulado “Effects of reinforcing materials on properties of glue and plywood” (MINEMURA, 1975) apresenta uma forma de redução das emissões de formaldeído de um painel compensado através da adição de melamina ou proteína da batata à formula do adesivo.

O artigo “Removal of free formaldehyde from particleboards” (KAWAHARA, 1975) apresenta redução de 3 vezes das emissões de formaldeído

a partir da aplicação em spray da solução aquosa da resina no colchão de partículas antes da prensa.

O artigo “Formaldehyde capture agents for formaldehyde thermosetting resin adhesives” (OHHARA e MAENO, 1974) apresenta um agente de captura de formaldeído que, adicionado ao preparo da resina uréia-formaldeído comercial, pode reduzir as emissões até dez vezes.

O artigo “Menstrual and child-bearing functions of female workers occupationally exposed to the affects of formadehyde” (SHUMILINA, 1975) concluiu que mulheres expostas ao formaldeído na sua atmosfera de trabalho, na produção de resina uréia-formaldeído, sofreram desordens menstruais e durante a gravidez até 2,5 vezes mais que o grupo de controle.

O artigo “Formaldehyde as a possible carcinogen” (ROSENKRANZ, 1972) utilizou um método de ensaio microbiano para demonstrar que possui comportamento similar a outros carcinogênicos conhecidos, concluindo que a exposição a baixas concentrações durante longos períodos de tempo seria uma situação que provavelmente aumentaria a probabilidade de carcinogênese.

O artigo “Action of low concentration of formaldehyde on the body” (FELDMAN, 1971) apresenta limites de exposição mais rigorosos da União Soviética: 0,03 ppm - exposição única; 0,01 ppm - exposição constante.

O artigo “Occupational health and environmental control” (Departament of Labor, Occupational Safety and Health Administration, 1971) regulamentou a exposição ao formaldeído (inalação, ingestão, absorção pela pele, ou contato). O limite máximo estabelecido foi de 3,0 ppm durante 8 horas de trabalho e as concentrações acima desse valor devem ser evitadas ou deve ser utilizado equipamento de proteção. Os valores atualizados, de acordo com norma OSHA 1910.1028, limitam a exposição para 0,75 ppm durante 8 horas, e 2,0 ppm para exposição até 15 minutos (OSHA, 2012).

A Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC, 2004) classifica substâncias em cinco grupos: Grupo 1, carcinogênico para humanos, contendo 107 substâncias; Grupo 2A, provável carcinogênico para humanos, com 61 substâncias; Grupo 2B, possível carcinogênico para humanos, 269 substâncias;

Grupo 3, não classificável quanto ao potencial carcinogênico para humanos, 508 substâncias; e Grupo 4, provável não carcinogênico para humanos, com uma substância. Em 2004 a IARC alterou a classificação do formaldeído para o Grupo 1, carcinogênico para humanos, caracterizando como alta exposição a concentração de mais de 1.0 ppm (1.23 mg/m³) de formaldeído no ar ambiente.

O Programa Nacional de Toxicologia (NTP, 2011), formado por diferentes agências do governo dos Estados Unidos da América incluindo o National Institutes of Health (NIH), Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Food and Drug Administration (FDA), classifica as substâncias como “conhecido por ser cancerígeno humano” ou “razoavelmente previsto como cancerígeno humano”. Assim como o IARC, o NTP alterou a classificação do formaldeído, em 2011, para “conhecido por ser cancerígeno humano”.

O INCA (2012) apresenta uma relação entre a concentração e os sintomas causados pela exposição, resumidas no Quadro 5.

Quadro 5: Concentração e sintomas da exposição ao formaldeído

Concentração (ppm)	Sintomas
0,1 a 0,3	Menor nível no qual tem sido reportada irritação
0,8	Limiar para odor (começa a sentir o cheiro)
1 a 2	Limiar para a irritação leve
2 a 3	Irritação dos olhos, nariz e garganta
4 a 5	Aumento da irritação de membranas e mucosas, e lacrimejação significativa
10 a 20	Lacrimejação abundante, severa sensação de queimação, tosse, podendo ser tolerada por apenas alguns minutos (15 a 16 ppm pode matar camundongos e coelhos após 10 horas de exposição)
50 a 100	Causa danos severos em 5 a 10 minutos (exposição de camundongos a 700 ppm pode ser fatal em duas horas)

Fonte: INCA (2012)

Para aumentar a proteção de trabalhadores e consumidores foram criadas em diversos países normas para classificar os painéis quanto a sua emissão. As principais normas quanto à emissão em painéis derivados de madeira, segundo

TSIROGIANNIS (2011), são: Europeia (EN 13986); Japonesa (JIS A 5908 e 5905); Norte-americana (CARB), representadas no quadro abaixo.

Quadro 6: Classificação dos painéis de MDF e nível de emissão

Norma	Categoria	Emissões (ppm)
EN 13986	E1	até 0,1
EN 13986	E2	Acima de 0,1
JIS A 5908 e 5905	F****	até 0,03 ¹
JIS A 5908 e 5905	F***	até 0,05
JIS A 5908 e 5905	F**	até 0,15
CARB	Phase 1 (2009)	até 0,21
CARB	Phase 2 (2011)	até 0,11

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de TSIROGIANNIS (2011)

¹ Valor próximo à emissão natural da madeira

Independentemente do nível de emissões dos painéis, o impacto que o formaldeído tem sobre o ciclo de vida do MDF e MDP não está restrito à produção e ao uso, mas também ao descarte. Sendo assim, mesmo que os níveis de emissão não sejam nocivos durante o uso, a utilização da resina na composição desses materiais impede que seus resíduos tenham a mesma destinação e tratamento da madeira maciça (FEPAM, 2012).

3

Etapas da vida do móvel

3.1

Produção de painéis

MDF e MDP são painéis de madeira industrializada que constituem a principal matéria-prima derivada de madeira para a produção de móveis residenciais e corporativos. Seu processo de produção tem início no cultivo de florestas de pinus e eucalipto, principais madeiras utilizadas como base para a produção de painéis. Essas espécies foram escolhidas por apresentarem reduzida idade de corte, alta produtividade, homogeneidade, custo competitivo, e segurança de abastecimento (SILVA, 2003).

O uso de áreas de terra para o plantio industrial de pinus (*Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, sendo o segundo o mais utilizado) e eucalipto (*Eucalyptus dunii* e *Eucalyptus grandis*, utilizados em igual quantidade) tem aspectos negativos e positivos para o meio ambiente. No contexto do aquecimento global, em que se faz importante o sequestro de carbono atmosférico, as florestas de rápido crescimento representam uma maneira viável de se realizar tal captura. Considerando que a captura de carbono ocorre com maior intensidade durante os primeiros anos de vida da árvore, o corte e plantio de um novo indivíduo mantém altos índices de captura de carbono na área cultivada em comparação ao reflorestamento para recuperação de mata nativa. Quanto à manutenção da biodiversidade, no entanto, o plantio extensivo de pinus e eucalipto oferece desvantagens em relação ao plantio para reflorestamento de mata nativa.

O manejo das florestas cultivadas para produção de madeira é feito para que se mantenha um abastecimento constante das fábricas. Após os corte, os troncos passam por um processo de retirada de galhos e folhas, para facilitar seu transporte até a unidade fabril. O transporte rodoviário é o mais utilizado, mas também existem casos de empresas que possuem terminais ferroviários próprios para o transporte das toras para o pátio de armazenamento. A seguir, será descrito

o processo de produção do MDF, e, posteriormente, serão indicadas as diferenças no processo produtivo do MDP.

Para melhor compreensão do processo de produção do MDF foi realizada visita em maio de 2012 à Masisa, indústria voltada para a produção de painéis, mais especificamente à unidade localizada em Ponta Grossa, Paraná, especializada em MDF. Essa unidade produziu, em 2011, 289 mil m³ de MDF, a partir de 425 mil toneladas de toras secas, o que representou 9,50% de toda a produção nacional de 2011 (ABIPA, 2012).

MITCHELL e STEVENS (2003), em um estudo de viabilidade econômica baseado nos fundamentos da ACV, dividiram o processo de produção de MDF em duas etapas: (1) preparação da fibra, e (2) formação dos painéis. A Figura 8 ilustra os processos que compõem essas etapas.

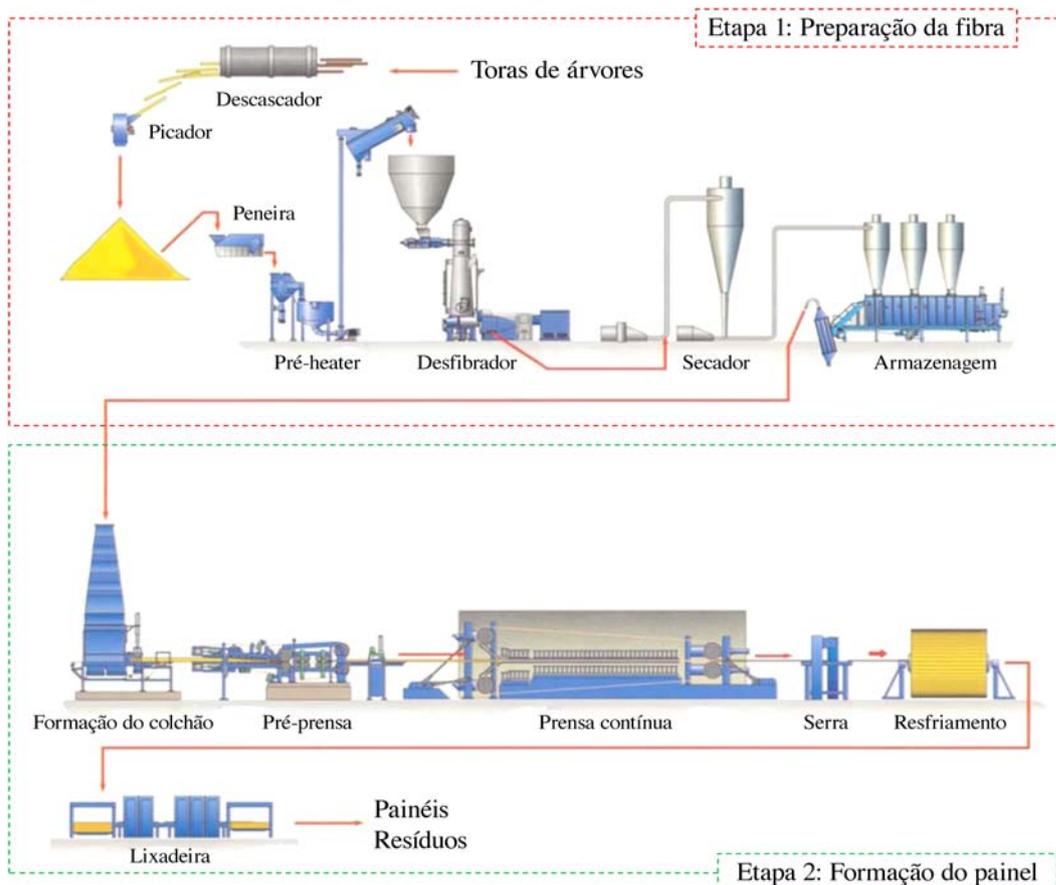


Figura 8: Processo de fabricação do MDF.
Fonte: Adaptado de MITCHELL e STEVENS, 2009

Como forma de garantir a qualidade das fibras dos painéis, as toras precisam ser descascadas. Esse processo ocorre em um grande tambor rotativo movido por motor elétrico que solta a casca através do impacto das toras entre si. Como as toras serão usadas para obtenção de fibras não é problema possuírem dimensões diferentes. A casca retirada nessa etapa é utilizada como combustível em caldeiras para gerar energia e calor para os processos internos da fábrica. Na Inglaterra, a casca possui mais valor como subproduto para agricultura, podendo ser comercializada para este fim (MITCHELL e STEVENS, 2009).

Em seguida, as toras passam por um picador que possui lâminas que giram em alta velocidade e as transformam em pequenas lascas, também chamadas de cavacos ou *chips*. Para eliminar impurezas e garantir a homogeneidade e padronização dos painéis, as lascas passam por uma peneira antes do estágio seguinte. Como não há controle no tamanho dos cavacos, os maiores retornam ao picador.

Para facilitar o desfibramento das lascas, que ocorre no desfibrador, o material selecionado na peneira passa por um processo de cozimento a vapor no *pre-heater* que amolece a lignina presente nas camadas intercelulares, o que resulta numa polpa de fibras mais resistente e flexível.

Uma das principais etapas na fabricação do MDF é a produção de fibras. Os cavacos, pedaços picotados de madeira, passam pelo desfibrador composto por dois discos estriados de 152 centímetros de diâmetro (60 polegadas) que giram em alta velocidade em sentidos opostos. As cavidades internas do disco do desfibrador tem seu tamanho reduzido do centro até sua parte externa. A alimentação central constante força a passagem dos cavacos pelas cavidades de diferentes tamanhos, o que os reduz à fibra da madeira.

Entre a obtenção das fibras e a sua secagem são adicionados: resina uréia-formaldeído, que aglutinará as fibras na prensa; catalisador; e emulsão parafínica, para repelir a umidade do MDF. Na fábrica visitada o material era composto por: 83% fibra de madeira; 10% resina uréia-formaldeído; aproximadamente 7% de umidade; e 0,5% de parafina.

Os avanços na tecnologia de resinas permitiu a adição de substâncias como os sequestrantes, que dificultam a volatilização do formaldeído livre presente na resina, reduzindo as emissões do painel. A empresa visitada produz painéis na categoria E1 da Norma Europeia (emissão de até 0,1 ppm), o que representa maior segurança em todas as etapas do ciclo de vida do material. De acordo com a NBR 15316-2 (2006), também é possível atingir a categoria E1 através da alteração da proporção uréia/formaldeído para 1:1, no lugar de 1:1,3, que gera um painel de classe E2, de média emissão de formaldeído (BELINI, 2007).

A secagem das fibras, já com os aditivos, ocorre em dois grandes sífões de ar quente. Em alguns casos, o calor é fornecido pela incineração dos resíduos de MDF da própria fábrica. Após a secagem, as fibras são peneiradas mais uma vez e armazenadas em silos antes de sua utilização na formação dos painéis. O armazenamento possibilita fornecimento constante e entrelaçamento das fibras na etapa seguinte.

A etapa de produção dos painéis se inicia com o assentamento, pelo efeito da gravidade, das fibras secas em uma esteira, onde se forma o colchão. Uma pré-prensa retira o excesso de ar do colchão de fibras, evitando possíveis rupturas e deslizamentos de fibras do colchão, deixando sua estrutura mais parecida com a de um painel. Em seguida, o colchão passa pela prensa, composta por cilindros que aplicam 460 toneladas de pressão por metro quadrado, o comprimindo até a espessura desejada. Durante a prensagem, a injeção de vapor permite um aquecimento quase instantâneo de mais de 200°C, resultando numa cura mais eficiente da resina que faz a ligação das fibras, e possibilitando a produção de painéis de espessura elevada.

Na saída da prensa, uma placa contínua é cortada por serras, que se movimentam em ângulo, evitando interromper o fluxo de saída constante da prensa. Os painéis, então, são resfriados, processo que dura até 72 horas. Durante esse período ocorre a estabilização da umidade interna e das propriedades físicas do MDF. Nessa etapa, o painel pode possuir até 1,5 mm acima da sua espessura nominal. O excesso de material é retirado na etapa seguinte.

Após a estabilização, as chapas são lixadas em equipamento dotado de quatro cabeçotes de lixas para que a superfície fique lisa e, em seguida, são cortadas em tamanho comercial padrão e embaladas em *pallets* ou encaminhadas para a aplicação de acabamento.

O revestimento melamínico é o mais comum na indústria de painéis, possibilitando a aplicação de cores e padrões impressos em papel especial. O processo inclui a aplicação de resina melamínica no papel que, posteriormente, é prensado a frio com a chapa de MDF ou MDP para sua fixação. É interessante notar que o papel pode receber qualquer tipo de impressão e não apenas cores chapadas ou texturas de madeira, mais comuns na indústria. Na empresa visitada, o revestimento melamínico é aplicado em cerca de 90% de todo o MDF produzido. Além dos padrões impressos no papel essa técnica também permite a impressão de relevo na resina. A parte da prensa que faz contato direto com o papel, chamado de prato, pode possuir texturas ou ranhuras que são impressas na resina que une o papel ao MDF. Dessa forma, é possível adicionar texturas homogêneas ou simular veios de madeira.

Nessa etapa não há geração significativa de resíduos, pois o papel é aplicado nos painéis prontos (lixados e no tamanho comercial) e é cortado do tamanho exato dos painéis. Sendo assim, o MDF revestido não aparece como resíduo nessa etapa do ciclo de vida dos móveis.

O Quadro 7 apresenta os principais resíduos gerados durante a produção dos painéis e o destino dado pela fábrica visitada.

Quadro 7: Resíduos gerados durante a produção de painéis e destino

Etapa geradora	Resíduos	Destino
Corte das árvores	Troncos e folhas	Fora do escopo do projeto
Descascador das toras	Cascas das árvores	Queima para geração de calor que aquece o ar para secar as fibras e o óleo da prensa
Lixadeira	Poeira de MDF ou MDP	Queima em caldeiras exclusivas para esse resíduo, com controle de emissões por um sistema de ciclones (abatedor de cinzas).
Corte em painel comercial	Aparas de MDF	Queima em caldeiras exclusivas para esse resíduo, com controle de emissões por um sistema de ciclones (abatedor de cinzas).

Fonte: MASISA , 2012

A norma técnica ABNT/NBR 10.004/2004 define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origens industriais, domésticas, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Os resíduos são classificados em (ABNT, 2004): Classe I (perigosos): apresenta riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição adequados em função das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade; Classe IIA (não inertes): aqueles que não se enquadram como resíduo classe I ou classe IIB. Podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; e Classe IIB (inertes): qualquer resíduo que, quando amostrados conforme a ABNT NBR 10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme a ABNT NBR 10006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água, excetuando-se aspectos, cor, turbidez, dureza e sabor.

As sobras de madeira e painéis são classificados como Classe IIA, pois não são inertes e sua disposição em locais indevidos pode criar foco de insetos xilófagos, e podem liberar compostos químicos no solo.

Considerando que o recebimento de resíduos industriais em aterros destinados a Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) desestimula a segregação na fonte e a reciclagem; pode acarretar no recebimento de resíduos perigosos Classe I, erroneamente enquadrados como resíduos sólidos industriais Classe II; e

compromete as já escassas áreas destinadas a aterros de resíduos sólidos urbanos, reduzindo a sua vida útil; a Resolução CONSEMA-RS 73 de 2004 proíbe a co-disposição de resíduos sólidos industriais em células destinadas ao recebimento de RSU, exceto aqueles oriundos de refeitórios e de áreas administrativas e previamente segregados na fonte geradora.

A Resolução CONAMA 382 de 2006, que tem como objetivo estabelecer limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos, incluiu na mesma categoria madeira em forma de lenha, aglomerados, compensado e MDF, estabelecendo que o processo de geração de calor deve ocorrer por combustão externa, em caldeiras ou fornos em que produto da combustão não entra em contato direto com o material ou produto processado.

Mais específica, a Portaria 9 de 2012 da FEPAM/RS, publicada em 15 de Fevereiro, determina que “materiais derivados de MDP, MDF e assemelhados, na forma de cavacos, serragem, pó de lixamento, aglomerado, compensado e demais derivados poderão ser utilizados como combustível em processo de geração de calor por combustão externa, em caldeiras e fornos nos quais a temperatura mínima na zona de queima seja superior a 750°C, desde que não tenham sido tratados como produtos halogenados, anti fúngicos, tintas, vernizes, adesivos e revestidos de plásticos, PVC ou quaisquer outros revestimentos, exceto papel melamínico puro. A mesma Portaria veda o uso dos materiais acima em atividades de indústria alimentícia, padarias, churrascarias, fornos em geral e demais atividades em que haja contato direto dos produtos da queima com produtos alimentares. Também é vedado o uso como combustível de qualquer derivado de madeira que tenha sido tratado e/ou apresente contaminação com produtos halogenados, anti fúngicos, tintas, vernizes, adesivos e revestidos de plásticos e/ou PVC.

A produção do MDP possui processos similares, com grande diferença na primeira etapa. Enquanto o MDF utiliza fibra de madeira em sua composição, o MDP utiliza partículas de dois tamanhos diferentes. Na produção de MDP as toras são transformadas em cepilhos de tamanhos diferentes em um equipamento

chamado cepilhador. Em seguida, os cepilhos são encaminhados para secadores que reduzem sua umidade para aproximadamente 2%.

No caso da produção de MDP, o peneiramento é feito por um classificador que separa partículas finas e grossas. Os cepilhos grandes demais são encaminhados a moinhos para que possam ser reutilizados no processo.

Os cepilhos são, então, impregnados com resina, e formam um colchão de três camadas. Os cepilhos grossos ficam na camada interna, e os mais finos nas camadas externas. Esta disposição colabora na maior resistência e estabilidade do painel, além de melhor acabamento nas superfícies. Após a formação do colchão em três camadas, o processo de prensa, resfriamento e lixamento são similares aos da produção de MDF. Apesar das semelhanças, os painéis possuem aplicações e características distintas, que podem ser observadas no Quadro 8 e na Figura 9.

Quadro 8: Comparação entre MDF e MDP

	MDF	MDP
Madeira ³	Pinus e eucalipto	
Adesivo ³	Ureia-formaldeído	
Processo de consolidação ¹	Calor e pressão	
Substrato ³	Fibra de madeira	Partículas de 2 tamanhos
Dimensão do painel (m) ¹	2,75 x 1,84 x 0,15 (ambos possuem diversas espessuras)	
Preço médio (US\$/m ³) ⁵	360,00	303,10
Custo de produção (%) ⁵	1,3	1
Densidade/Peso ¹	720 kg/m ³	620 kg/m ³
Propagação de chamas ¹	76 a 150	
Processos de beneficiamento ³	Usinagem de relevos, Encaixes, Parafusos, Cortes retos e curvos, Arredondamento de topo, Pregos (apenas estriados em painéis acima de 15mm),	Parafusos (rosca soberba) ¹ , Cortes retos ou curvos,
Acabamentos ¹	Perfis no topo, tintas, revestimentos	
Aplicações ¹	Uso interior, corte, usinagem, pintura, adequado para indústria moveleira, brinquedos, comunicação visual, entre outros	Móveis para escritório e residências, <i>racks</i> e caixas de som
Resistência à flexão (N/mm ²) ³	35	>35
Arranque de parafusos perpendicular ³	800	>800
Metros cúbicos de madeira de eucalipto sem casca necessários para produção de 1 m ³ ⁵	1,56	1,2
Metros cúbicos de madeira de pinus sem casca necessários para produção de 1 m ³ ⁵	1,74	1,32
Consumo interno 2011 (m ³) ⁴	3.164.552	3.017.055
Produção nacional 2011 (m ³) ⁴	3.039.644	3.069.718
Consumo indústria de móveis ⁴	45%	95%
Consumo vendas ⁴	46%	4%

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de: ¹Leo Madeiras, 2012; ²Eucatex, 2012; ³MASISA, 2012; ⁴ABIPA, 2012; ⁵BNDES, 2010



Figura 9: (a) Painel de partículas (MDP) ; e (b) Painel de fibra (MDF).

Fonte: Acervo do autor, 2012.

3.2

Fabricação de móveis

Os painéis de MDF e MDP são comercializados de duas maneiras diferentes. Enquanto uma parte é encaminhada aos centros de distribuição, que revendem os painéis para marcenarias, o restante é vendido diretamente para indústrias. Durante a realização deste trabalho, observou-se através de entrevista com especialista no setor, que a qualidade entre as principais indústrias de painel atingiu níveis similares e que a competição no mercado se dá principalmente pela variedade de revestimentos. Por realizarem pedidos de grandes quantidades, as indústrias possuem uma vantagem competitiva em relação às marcenarias de pequeno e médio porte, pois podem fazer pedidos de revestimentos personalizados.

A partir do diagnóstico realizado por MAFFEZZONI (2012) no Polo de Bento Gonçalves, maior do Brasil, e de LIMA (2005) e SILVA (2010) no Polo de Arapongas, segundo colocado, observa-se que o processo de fabricação dos móveis retilíneos é muito similar entre indústrias do mesmo porte. Quanto à gestão de resíduos, o Polo de Arapongas se destaca pela fundação, em 2000, do CETEC Centro de Tecnologia em Ação e Desenvolvimento Sustentável, que trabalha em parceria com uma empresa de mesmo nome fantasia (CETEC – Central de Tratamento de Resíduos Industriais) para centralizar os resíduos da indústria moveleira e dar destinação adequada a cada um deles. O estudo de viabilidade para implantação da usina de resíduos foi feito com base na elaboração de 190 diagnósticos identificando os resíduos gerados pelas indústrias do polo (LIMA, 2005).

De maneira geral, quando se trata da fabricação de móveis retilíneos, as indústrias possuem processos de fabricação e materiais semelhantes, com as seguintes etapas: estoque; corte dos painéis; fresagem; revestimento de borda; furação; lixadeira; pintura; controle de qualidade; embalagem; e expedição (LIMA, 2005; NASCIMENTO, 2009; MAFFEZZONI, 2012).

O estoque consiste em uma grande área de armazenamento dos painéis de diferentes espessuras e revestimentos que serão utilizados. No caso das indústrias de móveis retilíneos nota-se uma grande rotatividade no estoque.

Na etapa seguinte, as peças são cortadas nas dimensões definidas pelo projeto. O corte é feito por seccionadoras, que diferem da serra circular, pois podem cortar vários painéis simultaneamente. Enquanto na serra circular o material é movimentado e a serra de corte permanece girando na mesma posição, na seccionadora os painéis são empilhados e ficam presos, enquanto a serra se movimenta realizando o corte (LIMA, 2005).

Após o corte, algumas peças passam por um processo de fresagem, onde são executadas curvas, arredondamentos e entalhes, em equipamento composto por serras, tupias superiores, fresas e brocas. O centro de usinagem permite a realização de detalhes com grande produtividade.

Algumas peças ainda necessitam de furação complementar, além da realizada no centro de usinagem. Nessa etapa são usadas furadeiras convencionais, verticais ou horizontais, além das furadeiras múltiplas, que podem realizar diversos furos simultaneamente (LIMA, 2005).

Na etapa seguinte, aos painéis que já possuem revestimento é aplicada a fita de borda para realizar o acabamento de topo. A fita é aplicada por um equipamento chamado coladeira de borda (LIMA, 2005).

Os painéis que não possuem revestimento, e vão receber acabamento em tinta, precisam passar pela lixadeira. As peças são lixadas mecanicamente nas faces, onde é aplicado o fundo e posteriormente a tinta (LIMA, 2005). Algumas empresas utilizam o processo de rolo mecânico que é semelhante a um processo de impressão gráfica.

Nas etapas de processamento dos painéis e, principalmente na etapa de lixamento, atenção especial deve ser dada quanto ao controle de partículas sólidas em suspensão no ar, poeiras ou particulados.

LIMA (2005) lista os equipamentos mais utilizados pelas indústrias de móveis retilíneos. São eles: o coletor de pó, que coleta material em cada equipamento no interior da fábrica; o ciclone, que coleta material através de força centrífuga; o filtro de manga, eficiente na coleta de pós e partículas; o exaustor, sistema de absorção de pó no interior da fábrica; e o silo para armazenar o material recolhido pelo sistema de exaustão.

Em Bento Gonçalves, 51% das empresas utilizam exaustor e silo para captação do material particulado gerado nas etapas de processamento de madeira. 11% utilizam exaustor do tipo sacos coletores, equipamento mais comum nas empresas de pequenos porte (MAFFEISSONI, 2012). Em Arapongas, LIMA (2005) identificou a presença de mais de um tipo de equipamento nas empresas.

O controle de particulados é relevante, pois está diretamente relacionado à exposição dos trabalhadores ao formaldeído. O Quadro 9 apresenta concentrações encontradas por diversos autores em fábricas de móveis.

Quadro 9: Concentração de formaldeído em fábricas de móveis

País	Média ou variação (ppm)	Ano da pesquisa
Suécia	0,7	anos 80
Finlândia	1 – 1,5	1975-84
Suécia	0,2 – 0,5	n/d
Finlândia	0,3 – 1,1	1981-86
Dinamarca	0,12 – 0,16	n/d
Egito	0,42 – 0,64	anos 90

Fonte: Adaptado de IARC, 2004

Observando todo o processo, MAFFESSIONI (2012), LIMA (2005) e SILVA (2010) listam os seguintes resíduos presentes na produção de móveis retilíneos: serragem, maravalha e os cavacos de madeira e de chapas; restos de tintas, solventes, vernizes, borras, e água da cabine de pintura; estopas; lixas; varrição de fábrica, papel, plástico, metal; fitas de borda; borras de tratamento de materiais metálicos; lodos de estação de tratamento de efluentes; lâmpadas UV; latas, embalagens plásticas, cinta plástica utilizada na amarração dos painéis; cinza de caldeira. Diferente dos painéis, que são Classe II, os resíduos das áreas de pintura são da Classe I (perigosos).

O Sistema da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), a partir do princípio de que o resíduo de uma indústria pode ser matéria-prima de outra, disponibiliza em seu site a Bolsa de Resíduos, um espaço de livre negociação, aberto para empresas divulgarem informações sobre seus resíduos, conciliando ganhos econômicos e benefícios ambientais. Dos quatro anúncios de serragem ou cavacos de MDF publicados, três eram de doação e um de venda, e dois sugeriam o uso em artesanato, galinheiros, ou a queima em olarias.

O Quadro 10 apresenta uma compilação sobre a disposição de resíduos derivados de madeira em diferentes polos moveleiros.

Quadro 10: Destinação para resíduos de painéis em diferentes regiões

Região	Destinação	Autor, ano
Serra Gaúcha	42,4% Venda, 42,1% reaproveitamento para geração de energia na própria empresa, 8,3 doação; 6,7% descartado para queima; 0,39% descartado em aterro.	Schneider, et al.
Arapongas	Maioria encaminhada ao CETEC, ocorrendo também algum reaproveitamento interno (82% das empresas); venda (53% das empresas); queima (65% das empresas).	Lima e Silva
São José dos Pinhais	Retirados por olarias locais (queima)	Casilha, et al.
São Paulo	Queima (23% das empresas)	Rios
Santa Maria	Não existem práticas de gerenciamento ambiental.	Argenta

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de MAFFESONI, 2012

Por falta de informação e sob um argumento equivocadamente de benefício ambiental, em diversos polos moveleiros a serragem de MDF e MDP tem sido utilizado em forração de granja ou como adubo de hortaliças; ou incinerada, sem controle de emissões, para produção de energia (PEREIRA, 2003).

MAFFESONI (2012) afirma que em Bento Gonçalves uma alternativa de descarte para serragem de MDP e MDF é o encaminhamento para aviários, onde servem de forragem. O envio de serragem para composição de camas de aviário pode colocar em risco a saúde da população, pois a ingestão por parte dos animais dos diversos compostos químicos presentes nos painéis pode fazer com que esses compostos entrem na cadeia alimentar, sendo ingeridos e armazenados no corpo humano, podendo causar doenças.

Em Arapongas, os resíduos são encaminhados ao CETEC, onde cada tipo recebe um tratamento diferente em setores específicos da usina e o destino mais adequado possível (LIMA, 2005). Há tratamento do solvente e da borra de tinta com reciclagem, tratamento da água da cabine de pintura e separação dos materiais para reciclagem.

No tratamento dos resíduos de madeira (painéis e pó de serra), destaca-se a produção de briquetes e *pellets* de matéria prima das indústrias moveleiras (SILVA, 2010). Devido ao teor calorífico até três vezes maior que a lenha, estes dois produtos substituem a lenha e o óleo como alternativa de biomassa para

alimentar caldeiras para geração de energia, principalmente nas indústrias alimentícias (SILVA, 2010). O briquete não contém aditivos na sua compactação ou formação e, além de absorver a maior quantidade de resíduos da indústria moveleira, também é a maior fonte de receita para a usina CETEC.

As últimas etapas da produção dos móveis, de acordo com LIMA (2005), são o controle de qualidade; a embalagem, onde as peças são agrupadas com as ferragens de acordo com o modelo do produto, e são embaladas em caixas de papelão; e posteriormente a expedição. A montagem é realizada no local de uso.

3.3

Uso (manutenção, reparo, reforma, e reuso)

Uma característica que pode gerar grande preocupação no que diz respeito ao uso dos móveis de MDF é a emissão de formaldeído durante esta etapa do seu ciclo de vida.

O Quadro 11 foi adaptado de IARC (2004), usando como fator de conversão os valores definidos pela EPA/US para formaldeído (1ppm = 1,23 mg/m³), agregando resultados obtidos por pesquisadores de diferentes países.

Quadro 11: Concentração de formaldeído em escritórios

País	Média ou variação (ppm)	Ano da pesquisa
Estados Unidos	0,065	1981-84
Brasil	0,016	1993
Brasil	0,032	1995
Suécia	0,006	1995-96
Estados Unidos	0,001-0,01	1996-97
Austrália	0,021	n/d
Austrália	1,138	n/d
China	0,113-0,967	n/d

Fonte: Adaptado de IARC (2004)

A classificação do formaldeído como carcinogênico (IARC, 2004; NPT, 2011) aumentou a preocupação de consumidores e produtores quanto às emissões dos painéis de MDF e MDP. Com isso, a regulamentação relacionada tem se tornado cada vez mais rigorosa.

Os dados mais recentes utilizados pelo IARC no quadro são da década de 90 e, até hoje, a tecnologia das resinas UF passou por grandes avanços. TSIROGIANNIS (2011) afirma que sem um custo adicional muito grande é possível produzir painéis de baixa emissão, dentro da categoria E1 (até 0,1 ppm) ou até mesmo da J**** (até 0,03 ppm), que está próximo à emissão natural da madeira.

Além das emissões relacionadas ao painel de MDF e ao revestimento escolhido, a durabilidade do móvel é outro fator relacionado ao impacto gerado durante esta etapa. A vida útil do móvel está relacionada a fatores anteriores a esta etapa do seu ciclo de vida, como a escolha dos componentes de fixação e acabamentos e, também, a maneira de utilização durante sua vida útil, incluindo manutenção, reparo, e reuso.

A manutenção inclui desde a aplicação de produtos que preservam as peças, até a eventual substituição de componentes para prolongar a vida útil do produto (HERRMANN,___) e, assim como o reparo, é importante, pois estende ainda mais a sua vida útil, mantendo suas características originais.

Quando a mobília não se adequar mais à decoração, a reforma é uma alternativa que pode apresentar um custo menor do que a compra de uma nova peça. Nesse caso, é importante notar que mudanças no revestimento ou a adição de peças podem ter um impacto negativo quanto ao tratamento pós-uso imaginado durante a etapa de projeto.

O reuso é muito comum antes do descarte final, seja na escala residencial ou corporativa, uma vez que uma peça de mobiliário não tenha mais serventia para um usuário. A seguir, ABBATTI (2009) apresenta algumas alternativas interessantes ao descarte final.

A doação ou venda para empregados possibilita que o preço seja reduzido em relação ao valor de mercado, uma vez que o vendedor não precisa publicar anúncios ou arcar com despesas de transporte para a disposição final, facilitando a venda para as duas partes.

Para a venda de produtos de segunda mão existem serviços específicos na internet como “Mercado Livre”, “QueBarato!” ou “Gávea Garage Sale”, que possibilitam a realização de negociação do produto com um público maior. Como nesse caso o pagamento é gerenciado pelo *site*, tanto vendedores como compradores tem mais segurança. Além disso, é possível avaliar o valor de mercado de produtos similares, facilitando a atribuição de um preço que permita uma venda rápida. Os recursos audiovisuais da internet facilitam esse tipo de negociação.

Outra alternativa *on-line* é a permuta. Websites como “Tradaq”, “Permute” e “ProRede” recebem comissões por cada troca que realizam com sucesso e possibilitam que usuários se desfaçam de peças antigas, trocando por outras melhores. Nesse caso, além da comissão, os usuários tem também o custo do transporte das peças.

Dependendo da quantidade de peças, do seu valor, e da capacidade de divulgação, uma alternativa pode ser o leilão. Para que esta alternativa seja bem sucedida, no entanto, é importante uma ampla divulgação, para que as peças não sejam arrematadas por valores próximos ao lance mínimo.

Uma peça de mobiliário de MDF permanece em uso durante 30 a 40 anos (MANTANIS et al., 2004) dependendo da sua manutenção e das condições climáticas locais. No entanto, independentemente da sua durabilidade podemos considerar que todos os móveis produzidos serão eventualmente descartados.

3.4

Descarte e destinação final

Para estimar a quantidade de matéria produzida anualmente e transformada em resíduo ao final de seu uso foram utilizados dados obtidos na pesquisa sobre as duas primeiras etapas do ciclo de vida. Na produção de MDF e MDP, a perda principal de material está na etapa de lixamento dos painéis para que adquiram a sua espessura final. De acordo com entrevista a especialistas, esse valor pode chegar a 1,5 mm de espessura adicional para painéis maiores ou iguais a 15mm.

O Quadro 12 sintetiza os dados coletados, em termos de desperdício em cada etapa do ciclo de vida dos móveis retilíneos. Os painéis de 15mm de espessura, por exemplo, deixam a prensa com 16,5 mm para que seja retirado 1,5 mm. Isso representa 9% do material cru recém prensado (entrevista com Masisa).

Quadro 12: Percentual de resíduos gerados por etapa da vida do móvel

Resíduos	Produção de painéis (%)* ¹	Produção de móveis (%) ²	Pós-uso (disposição final) (%)	Total de MDF produzido (%)
MDF	9	17,12	73,88	100
MDP	9	5,02	85,98	100

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ¹MASISA, 2012, e ²SCHNEIDER, et al., 2004

* Anterior à quantificação de painéis produzidos.

Considerando que 91% de todo MDF, e 99% de todo o MDP, produzidos são utilizados no setor moveleiro, é possível estimar que, em 2011, 2.167.018 m³ de MDF, e 2.871.962 m³ de MDP, tenham sido transformados em móveis que, dentro de 30 ou 40 anos, serão descartados.

No Município do Rio de Janeiro, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) possui um serviço de remoção de bens inservíveis, incluindo algumas peças de mobiliário. O atendimento é feito de forma gratuita em casos de quantidades dentro dos limites, gerados por unidades residenciais. Para volumes excedentes, novas solicitações devem ser realizadas. Outra

alternativa é seguir as recomendações para estabelecimentos comerciais ou grandes geradores, que não têm acesso ao serviço gratuito e são instruídos a realizar a contratação de caçambas particulares em uma das empresas cadastradas no banco dados da COMLURB. A listagem fica disponível permanentemente em seu *website*.

O atendimento da COMLURB é feito pelo telefone 1746, de atendimento da Prefeitura do Rio de Janeiro. Durante o atendimento o solicitante deve fornecer nome, endereço, telefone fixo, telefone móvel e endereço eletrônico para cadastro no sistema. Assim que o cadastro é realizado, deve ser informada a quantidade de material que será coletada, que deve seguir as seguintes normas: (1) o material deve ser armazenado em sacos de 20 litros; (2) móveis devem estar desmontados e amarrados de forma a evitar acidentes; (3) o material deve ter fácil acesso, a uma distância máxima de 15 metros da entrada da residência; (4) não ultrapassar 6 itens ou 150 sacos de 20 litros por chamado. Caso a quantidade ultrapasse o limite é recomendado que um novo chamado seja realizado.

Em um prazo de 10 dias úteis é feita a remoção, que deve ser acompanhada por alguém responsável que possa assinar a Guia de Remoção fornecida pela equipe de coleta. Apenas o prazo de 10 dias é dado ao morador, não sendo possível agendar a coleta para data específica.

Também está disponível o serviço de Limpeza de Logradouro, para lixo que foi colocado indevidamente nas calçadas. Esse serviço pode ser solicitado por telefone e é realizado em 24 horas.

Mais informações sobre o processo foram obtidas por meio de entrevista com um funcionário da área de Coleta Domiciliar de Móveis da COMLURB. Durante a coleta de bens inservíveis, os funcionários fazem a segregação dos materiais no caminhão, sem distinção entre madeira e MDF. Os garis também podem, de acordo com seu julgamento, separar móveis em condições de uso para reuso próprio. Dificilmente um móvel que ainda pode ser utilizado chega ao local de disposição final.

Todo o material é levado à uma estação de transbordo e triagem, onde então é feita uma nova segregação anterior ao encaminhamento dos resíduos ao

local de disposição final. Mais uma vez, nessa etapa, os móveis ainda podem ser reaproveitados pelos catadores, ocorrendo às vezes a recuperação e doação para instituições beneficentes. O restante da madeira e seus derivados, que não pode ser reaproveitado, é estocado em caçambas ou caixas de 30 m³ e é recolhido por uma fábrica de cerâmica localizada no município de Tanguá, RJ, chegando a duas caixas de 30 m³ por semana. O material que não servia para aproveitamento térmico, na época da entrevista, era encaminhado para o aterro sanitário de Gramacho.

Não foi possível obter detalhes sobre o percentual de MDF e MDP presente nas caixas. Também não foi possível obter mais informações, junto à fábrica de cerâmica, sobre seu processo de queima, recuperação energética, gestão de resíduos e controle de emissões.

O estudo de Caracterização Gravimétrica e Microbiológica dos Resíduos Sólidos Domiciliares realizado pela COMLURB (2009) apresenta diminuição no percentual de madeira desde 1995. Naquela data o material era equivalente a 0,96% do total coletado, enquanto em 2009 representava 0,32%. Considerando o total de 104.985 toneladas coletadas em julho de 2012 no município (COMLURB, 2012), a quantidade de madeira gerada naquele mês, apenas nos resíduos domiciliares, seria equivalente a 335,95 toneladas. Para efeito de comparação de volume, considerando o total de 6.219.001 m³ de painéis de MDF e MDP produzidos no país em 2011 (ABIPA, 2012), e o peso específico de 740 kg/m³ temos um total de 4.602.060 toneladas e um valor médio de 383.505 toneladas de MDF e MDP produzidos mensalmente. A coleta domiciliar, apenas do Município do Rio de Janeiro, recolhe por mês, o volume de madeira equivalente a aproximadamente um décimo da produção de painéis nacional mensal.

O estudo da COMLURB (2009) abrange uma série de outros materiais e, em sua interpretação, é ressaltado o fato de que a retirada de materiais recuperáveis e potencialmente recicláveis do lixo, antes da caracterização, pode gerar interpretações equivocadas, sugerindo que o que é coletado não corresponde, de fato, ao que é gerado pela população.

É sugerido, em relação ao papel/papelão, que a diminuição no seu percentual não se deve à diminuição no consumo, e sim, pela substituição do material em embalagens, e à reciclagem cada vez maior desse material (COMLURB, 2009). A mesma lógica poderia ser aplicada aos derivados da madeira, que no lugar do descarte final, são comumente utilizados para queima.

O Município de Curitiba possui sistema de coleta agendada similar ao do Rio de Janeiro, exceto pela forma como o material é tratado, já que a madeira é separada da madeira industrializada, que não pode ser incinerada. A madeira é encaminhada para geração de energia térmica, enquanto a madeira industrializada é encaminhada para o aterro sanitário.

Municípios como Bento Gonçalves e Araçuaia não possuem políticas específicas para mobiliário, pois apesar de serem grandes produtores, não são grandes consumidores do produto final.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE em 2008, apesar de 100% dos municípios no Brasil possuírem coleta de lixo, apenas 27,7% destinam seu resíduo para aterros sanitários, enquanto 22,5 têm como destinação final aterros controlados, e 50,8% dos municípios encaminham seus resíduos para vazadouros a céu aberto (lixões). Apesar do aumento no rigor da legislação referente à disposição final de painéis para as indústrias madeira reconstituída, os móveis descartados, que representam de fato o maior volume de material no ciclo de vida, tem como destinação final conhecida, na melhor das hipóteses, os aterros sanitários.

4

Discussão: como fechar o ciclo?

O primeiro passo para determinar a adequação do MDF ao C2C é a avaliação das destinações dadas atualmente para o produto, sob esta nova ótica. Os principais destinos para os resíduos do MDF são: inclusão em compósitos plásticos, cimento Portland, queima, incineração e o aterro sanitário. Nenhuma das opções, no entanto, configura o fechamento do ciclo do material.

O uso em compósitos plásticos, ou misturado ao cimento, não está alinhado com os princípios C2C, uma vez que dificulta a recuperação posterior das fibras. Poderia ser considerado um exemplo de *downcycle* já que as fibras não retornam para o mesmo ciclo e se tornam irrecuperáveis após a “reciclagem”. Além disso, configura um uso alternativo para um material que pode ter mais efeitos nocivos do que positivos, uma vez que o MDF não foi criado para essa aplicação e os efeitos nocivos da mistura com outras substâncias não são conhecidos.

A queima não é recomendada, pois neste processo há formação de dioxinas e furanos, nocivos à saúde humana. A incineração, que é um processo mais controlado, também pode gerar emissões tóxicas, caso o processo não seja realizado com grande controle, sendo necessário equipamentos e filtros de custo elevado. A incineração para geração de energia é considerada uma estratégia viável para fechar o ciclo apenas no nível Prata da certificação, sendo necessário que o produto não tenha substâncias que possam causar emissões tóxicas, o que não é o caso.

Considerando os potenciais riscos à saúde que a disposição imprópria do MDF pode gerar, o aterro sanitário pode ser a alternativa mais segura, já que mantém o material isolado em seu interior, protegendo o ambiente. Pelo mesmo motivo, no entanto, não pode ser considerado como a solução mais adequada sob o ponto de vista do C2C, uma vez que isolar os nutrientes significa que estes deixam de integrar o ciclo biológico ou o ciclo técnico, sendo necessária a produção ou extração de mais matéria-prima virgem.

A partir destas considerações, para avaliar a possibilidade de adequação do MDF ao C2C, é essencial entender a qual ciclo pertence o material: biológico ou técnico.

4.1

Ciclo biológico

A matéria-prima do MDF, de base florestal, passa por uma série de processos até se transformar em painel, incluindo a redução da madeira à fibra, a adição de resina sintética e sua reconstituição na forma de painel. Partindo do princípio de que a árvore é a matéria-prima para a produção do painel, o MDF deve fazer parte do ciclo biológico. Por se tratar de madeira, o programa de certificação exige o selo FSC para se atingir o nível Platina, o que já é comum nas indústrias de painel brasileiras. Além disso, para integrar o ciclo biológico, é necessário que o material passe pelo processo de compostagem, definido pelo C2C como decomposição biológica, em que há quebra do material em dióxido de carbono, água, compostos inorgânicos e biomassa, em proporção consistente com materiais compostáveis conhecidos.

Duas questões são relevantes nesse processo: a qualidade do composto gerado em relação à contaminação pelo formaldeído; e a possibilidade do formaldeído afetar a atividade dos microorganismos no processo de compostagem. No Canadá, um estudo sobre o uso da serragem de MDF como fonte de carbono complementar para a compostagem de RSU foi realizado para avaliar a taxa de degradação do formaldeído. A serragem foi misturada ao RSU nas proporções de 2,5% e 5,0%. Nos dois casos, a taxa de degradação do formaldeído foi de 90% e não foram detectadas emissões gasosas da substância (LEUNGPRASERT, ___).

No Reino Unido, foram feitos testes com misturas de até 10% de MDF com resíduos de poda de árvores e jardinagem e os resultados obtidos foram similares. Apesar de identificarem que a degradação do formaldeído é incompleta, o composto foi capaz de contribuir para o crescimento de plantas, sem nenhuma

anomalia observada. Isso porque, a uréia-formaldeído há anos tem sido utilizada como fertilizante de liberação lenta. Também observam que o composto gerado tem aparência mais leve e mais clara que o composto tradicional, o que pode dificultar a aceitação pelo mercado, mais familiarizado com o composto de cor escura e maior densidade (WRAP, 2007).

Além disso, mesmo que seja usado apenas a serragem de MDF cru, proveniente das indústrias de painel, a associação do MDF com o MDF revestido pode gerar preocupação quanto à possibilidade de contaminação do composto.

De fato, a presença de revestimentos diversos, como tintas, laminados plásticos e vernizes, impede a realização da compostagem sem que haja tratamento prévio. Esse tratamento pode ser oneroso, uma vez que os revestimentos não são concebidos para facilitar a sua retirada. Esse tipo de resíduo, proveniente da indústria moveleira e dos móveis descartados pós-consumo, representa 91% de todo o MDF produzido, tornando esta uma questão essencial a ser solucionada para que o MDF possa integrar um ciclo biológico fechado.

Independentemente dos efeitos nocivos do formaldeído na compostagem, o fato de ser um material conhecido por ser carcinogênico o colocaria na categoria vermelha de substâncias, sendo necessário um plano de eliminação para o MDF pudesse ser certificado no C2C. No entanto, um estudo mais detalhado deve ser realizado para melhor avaliar o efeitos nocivos do formaldeído no MDF em cada etapa do seu ciclo de vida.

Existem pesquisas para a substituição da resina por adesivos biodegradáveis, à base de mamona (RAZERA, 2006) e soja (LI, 2009), e o segundo apresentou aumento na resistência a umidade dos painéis. Não foram encontradas informações sobre as modificações necessárias nas linhas de produção instaladas atualmente para a utilização destas resinas, essenciais para um estudo de viabilidade econômica da aplicação destas técnicas.

Além das questões supracitadas, características inerentes ao MDF, como o baixo teor de umidade, e composição das fibras, dificultam a ação de microorganismos que atuam na sua decomposição. A concentração de MDF acima

de 10% também pode prejudicar a compostagem, uma vez que o reduzido tamanho das fibras favorece a compactação do material, dificultando as trocas gasosas nos processos aeróbios (WRAP, 2007).

Com base nessas informações, pode-se concluir que o maior problema para o fechamento do ciclo biológico C2C do MDF pode não estar na presença do formaldeído em sua composição, mas também na variedade de revestimentos e aditivos que não oferecem segurança para o processo; e no fato de se tratar de um material que tem o tempo de degradação muito longo neste processo.

4.2

Ciclo técnico

Algumas características, como o elevado tempo de degradação da madeira, aproximam o MDF do ciclo técnico mais do que do ciclo biológico. Na fabricação de painéis, a etapa de produção de fibras, que inclui o transporte das toras, processos intensivos em uso de energia elétrica e adição de produtos químicos, possui o maior impacto ambiental. Assim como a alumina é extraída da bauxita, e posteriormente é transformada no alumínio utilizado pela indústria, a fibra é extraída das toras, para ser transformada nos painéis.

A partir desta analogia, para que seja possível a adequação do MDF ao ciclo técnico, é necessário avaliar a viabilidade de reciclagem das fibras que compõem os painéis de MDF.

MITCHELL e STEVENS (2009) realizaram um estudo de ACV no Reino Unido para comparar os impactos da disposição atual dos resíduos de uma indústria de painéis com a tecnologia *Microrelease* para reciclagem de fibras. O estudo considerou os efeitos do desvio do resíduo do aterro sanitário e incineração, com recuperação de energia no local ou externamente, para a reciclagem. Em relação à disposição dos resíduos de MDF, no local do estudo, o aterro sanitário apresentou o maior impacto ambiental. A geração local de energia apresentou o menor impacto, já que o uso de um combustível alternativo foi evitado, assim como o custo de transporte do material para processamento

externo. O processo de *Microrelease* utiliza apenas o resíduo de MDF cru, proveniente das fábricas de painéis e se mostrou viável considerando, nos cálculos da ACV, os processos evitados, como a fabricação de fibras e a disposição tradicional. Nesses casos, a reciclagem apresentou menor impacto ambiental do que as outras formas de disposição.

O uso de fibra reciclada foi testado em duas proporções: 10% e 20%. O painel com 10% de material reciclado apresentou economia de 0,4 toneladas de CO₂ equivalente, o que representa menor potencial de aquecimento global, além de redução na eutrofização e eco-toxicidade. Nos painéis com 20% de material reciclado, houve economia de 0,52 toneladas de CO₂ equivalente e diminuição do impacto na maior parte das categorias do estudo. Além disso, no processo de *Microrelease*, o painel com 20% de fibra reciclada apresentou pequena redução na resistência, mas se manteve dentro dos padrões europeus (MITCHELL e STEVENS, 2009).

É importante sinalizar que, devido às especificidades locais como matriz energética e deslocamento de materiais, os resultados do estudo são válidos para tomada de decisão apenas no local em que foram realizados. Podem, no entanto, servir de referência para a realização de estudos similares em outras localidades.

Outro processo foi desenvolvido com objetivo de aumentar os níveis de material reciclado na mistura (acima de 20%), sem perda na produtividade da indústria. Os painéis para testes foram produzidos com 75% de fibras virgens e 25% de material reciclado, e incluíram dois aditivos. Os resultados mostraram perda de qualidade quando os aditivos não foram utilizados e manutenção das propriedades dos painéis com o uso dos dois aditivos. Além disso, a tecnologia em estudo permitiu a inclusão de material reciclado na linha de produção de maneira eficiente, sem perda de produtividade ou da qualidade dos painéis (MANTANIS et al., 2004).

Uma terceira técnica está em processo de implementação pela empresa *MDF Recovery*, no Reino Unido e, resumidamente, consiste em triturar, molhar, esquentar e separar as fibras dos contaminantes.

Um estudo com base em avaliação microscópica e por infravermelho foi realizado pelo *BioComposites Centre* (2011) com objetivo de comparar a qualidade da fibra obtida através deste processo e a fibra virgem. O experimento indicou que a qualidade (comprimento e largura) das duas é igual e que, uma vez utilizada para a produção de painéis, a fibra obtida através da reciclagem não deveria prejudicar sua qualidade.

De acordo com o diretor da *MDF Recovery*, outros aspectos favorecem a aplicação da tecnologia, como a redução dos subsídios do governo britânico para a implantação de usinas de aproveitamento de energia térmica; a redução dos índices de emissões de poluentes permitidos neste processo; e o aumento nas taxas de disposição em aterros sanitários. Em países pequenos como o Reino Unido o espaço é uma questão mais relevante do que no Brasil, que possui maior quantidade de áreas disponíveis para a instalação de aterros, tornando menor o custo desta destinação final.

Outra diferença entre o Brasil e o Reino Unido é que no primeiro os painéis que não atingem o nível de qualidade exigido pela indústria são usados como proteção durante o transporte do MDF, reduzindo a quantidade de resíduos gerados internamente; enquanto no segundo isso não ocorre, tornando mais relevante a necessidade de tratamento do resíduo, o que favorece a instalação da usina de reciclagem junto à fábrica de painéis.

Apesar da preferência pelo tratamento do material cru, proveniente das indústrias de painel, o processo não possui restrições quanto aos revestimentos utilizados, pois o material é triturado e pode passar por processos de flotação ou retirada de metais antes da recuperação das fibras. Isso permitiria a inclusão de resíduos das marcenarias e dos móveis pós-consumo, sem um grande aumento na complexidade e custo do processo.

Pelas questões apresentadas, a recuperação das fibras pode ser a maneira mais viável de adequar o material ao C2C, uma vez que a fibra reciclada tem potencial para substituir a fibra virgem sem perda de qualidade.

4.3

Uma questão de logística

Ainda que exista a tecnologia necessária para a recuperação de fibra de madeira e sua reciclagem sem perda de qualidade, para que se possa aplicar plenamente o C2C, no nível Platina, seria necessária a implementação da recuperação de mais de 80% de toda fibra de madeira produzida.

Apesar de diversos autores estudarem as questões relacionadas aos resíduos gerados nas indústrias de painéis e na fabricação dos móveis, que representam, respectivamente, 9% e 17% de todo o material produzido, pouco se discute sobre o descarte dos móveis, que representa 74% de todo o MDF produzido.

A distância entre os polos moveleiros e os produtores de painéis se configura como um dos maiores empecilhos para a realização de estudos sobre o reaproveitamento dos resíduos da indústria moveleira (MAFFEISSONI, 2012), e este problema ganha dimensões muito maiores quando o foco passa para a recuperação dos móveis, distribuídos entre os mais de cinco mil municípios brasileiros. Esta fragmentação representa um enorme desafio para o fechamento do ciclo.

Antevendo esse problema, o C2C não exige que os produtos sejam reciclados necessariamente pela mesma empresa, desde que não haja perda de qualidade do material. A reciclagem em centros regionais pode ser mais eficaz do que a coleta e transporte do material de volta para a indústria de origem. Entretanto, no caso do MDF, o principal uso para a fibra de madeira é a produção de painéis, tornando necessário o seu retorno às indústrias de painéis.

Trata-se de um grande desafio de logística, porém, considerando que o MDF começou a ser produzido em 1997, e que o tempo médio de vida útil de um móvel é de trinta anos, há tempo para desenvolver novas tecnologias e implementar sistemas de coleta para que seja possível realizar a reciclagem das fibras uma vez que o MDF comece a ser descartado em maiores volumes no Brasil.

Neste cenário, o aumento no percentual de material reciclado e do nível de certificação C2C poderia suprir o aumento da demanda de material do mercado, possibilitando outros usos do solo nas áreas que seriam destinadas ao cultivo de pinus ou eucalipto, como a produção de alimentos, ou a recuperação da mata original de cada região.

Duas estratégias complementares podem ser traçadas para se atingir esse objetivo: a primeira na esfera do poder público, e a segunda na iniciativa privada.

Considerando os efeitos nocivos da destinação imprópria do MDF, este material poderia ser incluído na lista de produtos vinculados à logística reversa. A legislação, nesse sentido, tornaria compulsória a ação de todas as partes envolvidas no setor, com o objetivo de favorecer a destinação final mais adequada ao produto. De acordo com a logística reversa, comerciantes devem trabalhar com fabricantes para a realização da recuperação do material, porém, esta serve apenas como estratégia para a recuperação e destinação do material, não estando vinculada necessariamente à sua reciclagem.

As modificações por que o material passa em cada etapa, e a diferença de interesse entre as partes envolvidas no ciclo de vida do móvel podem dificultar a reciclagem das fibras. Por exemplo, enquanto o interesse na reciclagem seria da indústria de painéis, evitando a produção de mais fibras virgens, uma marcenaria pode estar mais preocupada com a aceitação do seu produto no mercado, e pode aplicar um determinado revestimento que dificulta esse processo de reciclagem. No entanto, a indústria é o segmento, em geral, que auferir maiores ganhos com o processo de reciclagem, tendo que se engajar neste contexto com máxima transparência (CALDERONI, 1997).

Nesse sentido, a recuperação do material através da logística reversa, para cumprir a legislação, pode ser complementada por um completo redesenho das relações entre os atores envolvidos no ciclo de vida dos móveis de MDF, usando como base o princípio do produto de serviço proposto pelo C2C.

4.4

O valor do projeto

O projeto de um móvel, ou de qualquer outro produto, tem grande influência em todas as etapas do seu ciclo de vida. Nesta fase são definidos os materiais, os processos produtivos, a escala de produção, formas de distribuição, a maneira de utilização, de manutenção, a forma como será descartado e, ainda, se poderá ser reciclado.

A ACV tem contribuído de maneira significativa para tomada de decisões relativas ao impacto ambiental de produtos em sua etapa de projeto. Na área de design de produto e engenharia, dados obtidos através de estudos de ICV passaram a integrar, recentemente, *softwares* de modelagem 3D e simulação. Para o funcionamento desse tipo de ferramenta, os dados ambientais, como emissão de carbono, uso de água e energia, vinculados aos locais onde o produto será produzido e onde será comercializado, devem ser atribuídos aos materiais junto a dados mecânicos como densidade, durabilidade, condutibilidade térmica, resistência. No software *Solidworks*, a combinação dessas informações com as ferramentas de simulação, possibilita a comparação entre diferentes situações e materiais e a escolha pelo menor impacto possível. No *software* em questão foi possível observar informações sobre diversos tipos de metais e plásticos, no entanto, os dados sobre madeira são escassos, se restringindo a poucos tipos de madeira maciça.

Alguns países criaram bancos de dados nacionais com as informações obtidas através dos estudos de ICV. Esse inventário facilita a realização de novos estudos, diminuindo seu custo e tempo de realização. Para o setor de mobiliário brasileiro, seria relevante a realização de estudos que consolidassem dados sobre MDF e MDP, por exemplo, facilitando a escolha pelo material mais adequado. Nesse caso, as informações podem variar muito. Enquanto uma indústria pode estar localizada próxima à sua área florestal e possuir transporte por linha férrea, outra pode estar distante e possuir transporte rodoviário. Para que a ferramenta seja útil ao setor de mobiliário seria muito importante que o banco de dados fosse

mais detalhado. Os resultados deste tipo de estudo poderiam servir para alimentar um banco de dados nacional para facilitar os estudos de ACV.

Enquanto a ACV contribui para a tomada de decisões de menor impacto, os princípios C2C aplicados à etapa de projeto representam uma grande oportunidade de fechamento de ciclo de fato. No caso da indústria de MDF, o princípio do produto de serviço poderia estreitar a relação entre indústrias de painéis, fabricantes de móveis e usuários, focando no desenvolvimento de novos produtos que tragam vantagens para todos os atores envolvidos.

A desmontagem, também citada como elemento essencial do ecodesign (MANZINI, 2001), quando considerada no projeto pela fábrica de móveis, pode facilitar a recuperação dos materiais para indústria de painéis e a montagem dos produtos pelos usuários, por exemplo. No setor de móveis de MDF, a desmontagem pode ser favorecida através do resgate de técnicas tradicionais de marcenaria, como os encaixes, utilizando equipamentos modernos de corte computadorizado. A Figura 10 ilustra alguns modelos de encaixe que no passado poderiam apenas ser produzidos por experientes marceneiros, mas que hoje podem ser facilmente reproduzidos em equipamentos computadorizados como fresas CNC.

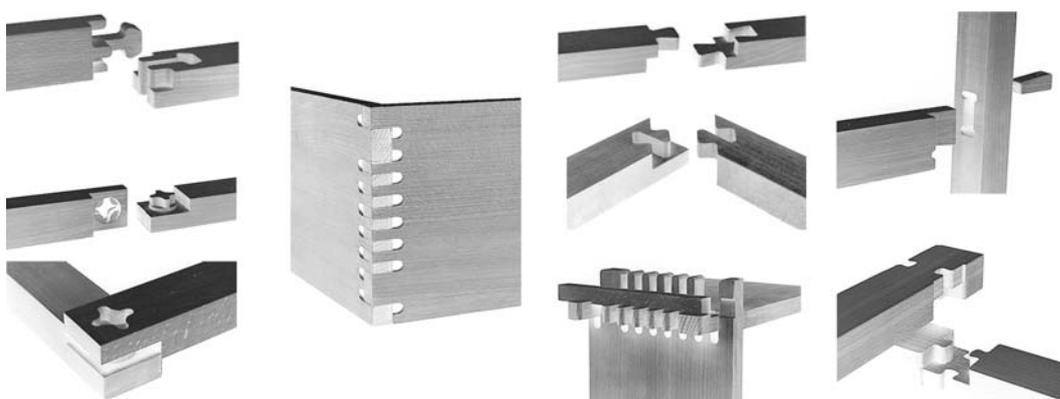


Figura 10: Exemplos de junções cortadas em fresa CNC. Fonte: GROS, ____

Na etapa de projeto também é possível explorar as possibilidades oferecidas por novos tipos de material. Recentemente duas empresas passaram a produzir MDF colorido. As cores são menos saturadas quando comparadas às tintas

utilizadas pela indústria ou os revestimentos laminados, porém, a massa colorida possibilita a usinagem de relevos, sem que seja necessária a pintura posterior. A Figura 11 ilustra algumas alternativas desta técnica, que pode ser amplamente explorada nas etapas de projetos de móveis.



Figura 11: Móveis de MDF colorido com encaixes.

Fonte: (a) BAUCE; CACHE, 2007; (b) CUT, 2012

Os princípios de ecodesign, sustentabilidade, e do C2C estão fortemente ligados à etapa de projeto do produto, que por sua vez tem consequências em todas as etapas do ciclo de vida do móvel. No caso do MDF, o projeto passa a ter ainda mais importância, pois sem contemplar a recuperação das fibras nesta etapa, a reciclagem torna-se inviável. Sendo assim, com o objetivo de redesenhar todo o ciclo de vida deste produto, a atividade projetual deveria ocupar uma posição estratégica nas empresas do setor de mobiliário.

5

Recomendações

De maneira geral, observa-se que o MDF e MDP não foram materiais desenvolvidos, desde a etapa conceitual, para um ciclo fechado. Pela sua versatilidade e praticidade, no entanto, tornaram-se os materiais mais utilizados pela indústria moveleira e tornaram mais acessíveis, em termos financeiros, as peças de mobiliário.

Apesar de ser um material de base biológica, a melhor maneira de adequação ao C2C parece ser através da recuperação das fibras ou partículas em todas as etapas do ciclo de vida, principalmente dos produtos finais. Para um diagnóstico mais preciso é relevante aumentar a compreensão do funcionamento desta cadeia, principalmente no que tange ao uso e descarte dos produtos finais, como o volume gerado, a coleta nos municípios, e a durabilidade dos móveis. Tais informações contribuiriam para um estudo mais aprofundado de viabilidade econômica para instalação de uma ou mais usinas de recuperação de fibras. Usando parâmetros da ACV, o desempenho atual da indústria poderia ser comparado com o ciclo fechado pela reciclagem das fibras.

Para suprir a falta de dados sobre impacto ambiental no setor, é recomendada a realização de estudos sobre ciclo de vida de materiais básicos e processos, além da criação de um banco de dados centralizado que possa servir de base para estudos futuros, tornando-se mais rápidos e baratos. A exigência de selos verdes do tipo III poderá dificultar a venda de produtos no exterior, o que poderá ter impacto na indústria, mesmo que a exportação represente uma parcela pequena para o setor moveleiro.

A substituição do formaldeído por substâncias que não sejam nocivas parece ser essencial para a adequação ao C2C. No entanto, um estudo mais detalhado junto à agência certificadora deve ser realizado para avaliar a real necessidade, visto que as emissões durante o uso são mínimas e, considerando o ciclo técnico fechado, a substância não contaminaria outros nutrientes.

Quanto aos revestimentos, conclui-se que a maior parte dos revestimentos utilizados hoje se colocam como barreiras à aplicação dos conceito C2C ao setor. Para isso, seria interessante o desenvolvimento de pesquisas para adequação aos princípios apresentados ou a criação de novos revestimentos adequados.

Um sistema de certificação específico para o setor também pode ajudar a deixar mais claro para o mercado os impactos referentes a cada produto. A declaração corrente de “material ecologicamente correto” deveria ser evitada, uma vez que se baseia exclusivamente no fato de as florestas serem plantadas especificamente, o que tem como base a proibição por lei do desmatamento. É uma declaração superficial.

Quanto aos projetos, pode-se privilegiar o uso do material cru, como é o caso do MDF colorido. Além de oferecer possibilidade que o material com revestimento tradicional não possibilita, o MDF colorido também facilita a produção reduzindo as etapas de acabamento. Recomenda-se à indústria de painéis maior aproximação com fábricas de móveis, para o desenvolvimento de uma variedade maior de cores e mais soluções que favoreçam a criação de novos produtos, sem comprometer uma possível recuperação da fibra de madeira.

Deve ser avaliada também a possibilidade de inclusão do MDF como substâncias de risco à saúde, favorecendo o desenvolvimento da logística reversa na cadeia produtiva. Tal classificação obrigaria municípios e o setor a desenvolver o que se apresenta como o maior desafio para a aplicação do C2C: a fragmentação do descarte do material. O planejamento poderia envolver órgãos públicos, através do licenciamento ou instalação de pontos de entrega voluntária e privados, que utilizariam de fato o resíduo.

Caso seja constatada a impossibilidade de qualquer uma das recomendações acima, pela ótica do C2C o MDF seria classificado como um inegociável e poderia ser armazenado após o descarte até que a tecnologia para seu reaproveitamento fosse viável.

Referências bibliográficas

ABIMOVEL. **Panorama do setor moveleiro no Brasil: informações gerais**. 2006. Disponível em: <<http://www.abimovel.org.br/>>. Acesso em: 16 mar. 2012.

ABIMOVEL. **Dados Gerais**. Distrito Federal, 2012.

ABIPA <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>> 2012 Acesso: 20 ago. 2012.

ABBATTI, Cecília. **Descarte eficiente**. Revista Exame PME, São Paulo, n 21, 2009. <<http://exame.abril.com.br/revista-exame-pme/edicoes/0021/noticias/descarte-eficiente-507359>> Acesso: 12 jan. 2012.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos – Classificação**. ABNT/NBR 10004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BAUCE, P.; CACHE, B. <<http://www.flickr.com/photos/puikincz/2148150267/in/photostream/>> Centre Pompidou, 2007. Acesso: 13 jul. 2012.

BELINI, U.L. **Caracterização e alterações na estrutura atômica da madeira Eucalyptus grandis em três condições de desfibramento e efeitos nas propriedades tecnológicas de painéis de MDF**. Piracicaba. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, 2007, 90p.

BNDES. **Os novos desafios para a indústria moveleira no Brasil**. Rio de Janeiro, n 15, p.83-96, 2002. <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1504.pdf> Acesso: 29 out. 2011.

BNDES. **Panorama de Mercado: Painéis de madeira no Brasil**. Rio de Janeiro, n 32, p.49-90, 2010. <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32102.pdf> Acesso: 23 abr. 2012.

BIOCOMPOSITES CENTRE. **Quality Evaluation of MDF Recovery's Recycled MDF Fibres**. Reino Unido. 2011

BRASIL. Presidência da República. **Plano Amazônia Sustentável: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira**. Presidência da República. Brasília: MMA, 2008. 112 p. <http://www.mma.gov.br/estruturas/sca/_arquivos/plano_amazonia_sustentavel.pdf> Acesso em 28 mai. 2012.

CONAMA **Resolução 382 de 2006**. 2006

COMLURB. **Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares Coletados pela COMLURB no Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em <<http://comlurb.rio.rj.gov.br/download/caracterização%202009.pdf>>

COMLURB <<http://www.comlurb.rio.rj.gov.br/lixometro/>> Acesso: 23 ago. 2012.

CUT <<http://cutfurniture.com>> Acesso: 15 mai. 2012

FAO. **Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera**. Roma: FAO, 1968. 250 p.

SUPERQUIMICA. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – Metanal**. 2011

FIRJAN. **Bolsa de resíduos**. 2012 <<http://www.firjan.org.br/data/pages/402880812141515B01214491A76C677A.htm>> Acesso em 15 set. 2012.

FRANCO, A. **A evolução do móvel residencial seriado brasileiro em madeira reconstituída**. São Paulo. Originalmente apresentado como dissertação de mestrado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2010, 214 p.

FSC <<http://www.fsc.org.br/index.cfm?fuseaction=conteudo&IDsecao=166>>

GROS, J. **50 Digital Wood Joints**. 2012

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; **IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans - volume 88 - Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol**. Lyon, França: IARC, 2004.

LEMOS, H.M. **As Normas ISO 14000**. Instituto Brasil PNUMA. Rio de Janeiro, 2012. <<http://www.brasilpnuma.org.br/saibamais/iso14000.html>> Acesso em 21 fev. 2011.

LEUNGPRASERT, S.; OTTEN, L. **Fate of Formaldehyde in MDF Sawdust during MSW Composting**. _____

LI, X. et al.; **Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive**. Bioresource Technology, 100, 3556-3562, 2009

LIMA, E.G. de; **Diagnóstico ambiental de empresas de móveis em Madeira situadas no Pólo Moveleiro de Arapongas-PR**. Dissertação. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

MAFFESSIONI, D. **Análise da situação ambiental das indústrias do pólo moveleiro de Bento Gonçalves**. Dissertação Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012

MASISA. **Visita à fábrica**. 2012

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle: Remaking the way we make things**. New York, Estados Unidos da América: North Point Press, 2002.

MENDES, S.A. **Estudo de variáveis de produção de painéis de OSB manufaturados com mistura de madeira de clones de Eucaliptus spp.** 2005. 117p. Dissertação: Mestrado em Engenharia Florestal - Ciência e Tecnologia da Madeira, UFLA, Lavras, 2005.

NIEDERSBERG, C.F. **Portaria nº 9 de 2012**. FEPAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MITCHELL, A.; STEVENS, G.; **Life Cycle Assessment of Closed Loop MDF Recycling: Microrelease Trial**. Oxon, Reino Unido: WRAP, 2009.

NTP. **National Toxicology Program**. Report on Carcinogens. 2011.

PIMENTEL, J.P. **Paraná é o estado mais afetado pelo apagão florestal**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>> Acesso em: 13 dez. 2004.

QI, H.; COOPER, P.A.; WAN, H. **Effect of carbon dioxide injection on production of wood cement composites from waste medium density fiberboard (MDF)**. Waste Management – Volume 26. 2006.

RAMUZ, M. **A Enciclopédia do Trabalho em Madeira**. Londres, Reino Unido: Quantum Publishing Ltd, 2001.

RAZERA, D.L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. Curitiba. Originalmente apresentada como tese de doutorado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2006, 144 p.

SILVA, J. de C. **Sinal verde para móveis de eucalipto**. Revista da madeira, Curitiba, edição especial-eucalipto, p.136-138, 2003.

SILVA, J. da. **Tratamento de resíduos, impactos e dinâmica ambiental na indústria moveleira de Araçatuba – Paraná**. 2010. 137p. Dissertação (Mestrado em Geografia Dinâmica e Espaço Ambiental) - Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina, 2010.

SIMA. **Sindicato das indústrias de móveis de Araçatuba**. Disponível em: <<http://www.sima.org.br>> Acesso em: 15 fev. 2004.

SUSTAINABLE GRAPHIC DESIGN <<http://sustainable-graphic-design.blogspot.com.br/2011/07/materials-life-cycle-assessment-in.html>> Acesso: 27 jul 2012.

SCHNEIDER, V.E.; HILLIG, É.; BERTOTTO FILHO, L.A.; RIZZON, M.R. **Geração de resíduos de madeira e derivados no Polo Moveleiro da Serra Gaúcha – Diagnóstico e indicativos para o gerenciamento ambiental na indústria moveleira.** In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004, Natal - RN - Brasil. Anais. Rio de Janeiro/RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

TSIROGIANNIS, P. **Producing Panels with Formaldehyde Emissions at Wood Level.** Paper apresentado na World Formaldehyde 2011 Conference. Kuala Lumpur, Malásia. 2011. <<http://www.chimarhellas.com/world-formaldehyde-2011-conference/>>

VALCHROMAT. **Investwood** <<http://www.valchromat.pt>> Acesso em 26 jun. 2012.

WINWOOD. **Winfiber** <<http://www.winwood-products.com/eng/timber-products/coloured-mdf.htm>> Acesso em 12 jun. 2012.

WRAP. **Composting Wood or Cardboard Waste with Green Garden or Household Kitchen Waste.** Reino Unido. WRAP. 2007

VENZKE, S.C. **A situação do ecodesign em empresas moveleiras da região de Bento Gonçalves, RS: análise da postura e das práticas ambientais.** Porto Alegre. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, 125 p.