

ROZIANI MARIA GOMES

**USO DE PAINÉIS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE MADEIRA EM
CONSTRUÇÃO HABITACIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G633u
2019
Gomes, Roziani Maria, 1986-
 Uso de painéis fabricados com resíduos de madeira em
 construção habitacional / Roziani Maria Gomes. – Viçosa, MG,
 2019.
 xii, 77f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndices.

Orientador: Antonio Cleber Goncalves Tibiriçá.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.62-69.

1. Resíduos de madeira. 2. Chapas de madeira.
3. Habitação. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo. II. Título.

CDD 22 ed. 721.0448

ROZIANI MARIA GOMES

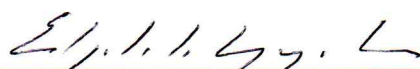
**USO DE PAINÉIS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE MADEIRA EM
CONSTRUÇÃO HABITACIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

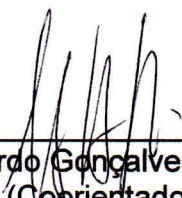
APROVADA: 30 de maio de 2019.



Délio Porto Fassoni



Elza Luli Miyasaka



Leonardo Gonçalves Pedroti
(Coorientador)



Marcos Oliveira de Paula
(Coorientador)



Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde, por ter sempre me encorajado e dado forças para conseguir tudo que precisei no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao meu orientador Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, por quem tenho admiração e apreço, pela sua compreensão, incentivo, apoio, paciência, pelo tempo disponibilizado ao desenvolvimento desse trabalho, por todo o conhecimento transmitido e soluções para o bom desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus pais Luiz e Maria que me deram, além da vida, os princípios de honestidade, determinação, paciência e humildade para saber valorizar as pequenas coisas. Agradeço-lhes pelo apoio e carinho, por tudo que me ensinaram e contribuíram para meu desempenho pessoal e acadêmico.

Aos meus irmãos Dalberto e Gilberto pelo apoio, incentivo, carinho e compreensão.

Aos meus sobrinhos Luiz Felipe, Lívia, Mariana e Mateus, pela compreensão de todos os momentos que deixei de compartilhar com eles.

Ao Carlos Alexandre, pelo amor, carinho e apoio nesse período, e também por suas contribuições, partilhados no desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos professores Marcos Oliveira de Paula e Leonardo Gonçalves Pedroti, pelas contribuições ao trabalho com correções e divisão de conhecimentos.

À Comissão Coordenadora e ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, sempre à disposição para atender e esclarecer as dúvidas.

À Universidade Federal de Viçosa, pela minha formação e suporte ao crescimento acadêmico e profissional.

Aos professores das disciplinas, pelo conhecimento compartilhado, contribuindo de certa forma para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Simbiose Ambiental, na pessoa de Thainara Lessa Forforo e Shaista Lessa Forforo, por partilharem informações sobre o Polo Moveleiro de Ubá e indústrias. Suas contribuições foram de grande importância para a realização da pesquisa de campo.

À minha amiga de curso, Luana de Oliveira Gomes, pela partilha de conhecimentos e desabafos, quando necessário.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desdobramento sistêmico da edificação	8
Figura 2 – O sistema de edificação e suas partes físicas funcionais	10
Figura 3 – Partes constituintes do sistema construtivo	15
Figura 4 – Produção e consumo de painéis de madeira no Brasil (m ² - milhões)	17
Figura 5 – Montagem de casa constituída por painéis abertos	19
Figura 6 – Painel fechado com instalações hidráulicas	19
Figura 7 – Anisotropia da madeira	28
Figura 8 – Painéis recompostos de madeira - divisórias	31
Figura 9 – Painéis recompostos de madeira – revestimento	31
Figura 10 – Projeção da produção de painéis de madeira (2010 - 2020).....	32
Figura 11 – Aplicações domésticas dos painéis OSB	39
Figura 12 – Produtores de madeira plástica no Brasil.....	43
Figura 13 – Processo de fabricação da madeira plástica.....	44
Figura 14 – Principais mercados para madeira plástica nos EUA em 2000.....	45
Figura 15 – Formas de uso da madeira	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de resistência das coníferas	25
Tabela 2 – Classes de resistência das dicotiledôneas	26
Tabela 3 – Classes de umidade	28
Tabela 4 – Classificação de painéis de fibras de média densidade, por densidade..	35
Tabela 5 – Requisitos gerais	37
Tabela 6 – Número de unidades produtoras de acordo com o tipo de produto fabricado.....	50
Tabela 7 – Produção de móveis e colchões no polo de Minas Gerais	50
Tabela 8 – Matéria-prima adquirida e resíduos de madeira gerados, por mês	55
Tabela 9 – Potencial geração de resíduos de madeira no Polo Moveleiro de Ubá, em 2019.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das partes de um sistema-edificação	8
Quadro 2 – Descrição de exigências dos usuários	11
Quadro 3 – Classes de risco	12
Quadro 4 – Levantamento sobre alternativas de uso de resíduos de madeira e resinas na fabricação de painéis	18
Quadro 5 – Variação da espessura	22
Quadro 6 – Variação da largura	22
Quadro 7 – Restrições ao uso de painéis MDP.....	36
Quadro 8 – Diferenças relativas ao uso de madeira convencional e de MP	42
Quadro 9 – Identificação do tipo de processo relacionado com os resíduos produzidos na fabricação de móveis	49
Quadro 10 – Atividade comercial das empresas quanto ao uso da madeira e seus derivados.....	51
Quadro 11 – Matéria-prima usada nos processos de fabricação das empresas.....	52
Quadro 12 – Percentual de uso de matéria-prima na fabricação dos produtos	54
Quadro 13 – Destinação dos resíduos de madeira gerados nas empresas.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABIMÓVEL – Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário
- ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
- ASTM – *American Society for Testing and Materials*
- BP – Baixa pressão
- FIFO – *First in, first out*
- HDF – Painel de fibra de alta densidade (*hardboard*, ou *high density fiberboard*)
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IEMI – Instituto de Estudos e Marketing Industrial
- Intersind – Sindicato Intermunicipal das Indústrias do Mobiliário de Ubá/MG
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- MDF – Painéis de fibras de média densidade (*medium density fiberboard*)
- MDP – Painéis de partículas de média densidade (*medium density particleboard*)
- MP – Madeira plástica (*wood plastic composite*)
- OSB – Painel de tiras de madeira orientadas (*oriented strand board*)
- PEAD – Polietileno de alta densidade (*high density polyethylen – HDPE ou PE-HD*)
- PEBD – Polietileno de baixa densidade (*low density polyethylen – LDPE ou PE-LD*)
- PET – Politereftalato de etila (*polyethylene terephthalate*)
- PP – Polipropileno (*polipropene 25*)
- PVC – Policloreto de vinila (*polyvinyl chloride*)
- REMADE – Revista da Madeira

LISTA DE TERMOS

Angiospermas – são plantas que possuem sementes protegidas por frutos, estas plantas também apresentam flores.

Gimnospermas – plantas que têm sementes mas não produzem frutos.

Xilófagos – insetos que se alimentam da madeira.

Madeira dura – provenientes de árvores frondosas (dicotiledôneas, da classe angiosperma, com folhas achatadas e largas), de crescimento lento. As madeiras duras de melhor qualidade também são chamadas de madeiras de lei.

Madeira macia – provenientes em geral das árvores coníferas (da classe gimnosperma, com folhas em forma de agulhas ou escamas, e sementes agrupadas em forma de cones), de crescimento rápido.

Madeira verde – recém-cortada.

Alburno – camadas formadas por células vivas que conduzem a seiva das raízes para as folhas.

Cerne – com o crescimento, as células do alburno tornam-se inativas e constituem o cerne, de coloração mais escuras, passando apenas a ter função de sustentar o tronco.

Anisotropia – é a característica que uma substância possui em que uma certa propriedade física varia com a direção.

Nós – imperfeição da madeira nos pontos dos troncos onde existiam galhos.

Fendas – aberturas nas extremidades das peças, produzidas pela secagem mais rápida da superfície; ficam situadas em planos longitudinais radiais, atravessando os anéis de crescimento.

Cavaco – resíduo na forma de pequenos pedaços de madeira resultantes de uma trituração.

Cepilho ou maravalha – resíduo da madeira na forma de aparas, ou seja, fitas estreitas que se formam ao aplinar ou alisar a madeira.

Serragem – resíduo de madeira na forma de pó ou fragmentos que saem da madeira quando serrada.

Madeira recomposta – produto geralmente encontrado na forma de placas, fabricado por meio de serragem e resíduos de madeira compensada, convertidos em flocos e colados sob pressão.

RESUMO

GOMES, Roziani Maria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2019. **Uso de painéis fabricados com resíduos de madeira em construção habitacional.** Orientador: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá. Coorientadores: Leonardo Gonçalves Pedroti e Marcos Oliveira de Paula.

A utilização da madeira em construções, como material resistente, durável e sustentável, é conhecida desde tempos remotos. Mas em diferentes partes integrantes do sistema construtivo de uma habitação, podem coexistir distintos materiais para se obter as condições de composição arquitetônica, de desempenho, de custo e de manutenção. Numa habitação, sua constituição pode ser atendida com tipos diferenciados de material, entre os quais a madeira e seus derivados. Para o emprego desses derivados em habitações, uma opção e oportunidade refere-se à aplicação de painéis recompostos com resíduos de madeira oriundos de processos industriais com predominância de utilização da madeira como matéria-prima no seu sistema de produção, nos quais há grande geração de resíduos, normalmente dispostos no meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento. Dentre os processos industriais com tais características, têm-se os arranjos produtivos de indústrias de móveis de madeira, potenciais fornecedores de resíduos de madeira, como é o caso do Polo Moveleiro de Ubá/MG, no qual ainda não há atualmente uma solução viável para descartá-los. Com base nesse contexto e no cenário regional, buscou-se nesta pesquisa verificar possibilidades para agregação desses resíduos a algum tipo de resina para a produção regional de painéis recompostos de madeira que possam se tornar partes constituintes de uma edificação. Para isso, inicialmente examinou-se na literatura possibilidades para se substituir a madeira maciça e alvenaria convencional por painéis recompostos de madeira, sendo verificadas as propriedades dos materiais recompostos de madeira e da madeira maciça, estudadas as partes de um sistema construtivo e em quais poderiam ser utilizados painéis do tipo MDF, MDP, OSB e madeira plástica, não sendo objeto da pesquisa a realização de testes em laboratório. A prospecção da potencial geração de resíduos nas indústrias de móveis de madeira do polo moveleiro de Ubá foi guiada por um roteiro. Com base no conjunto de elementos examinados na literatura – madeira e seus derivados e as partes integrantes de uma habitação, gerou-se, como resultado, uma sistematização relacionada com propriedades, necessidades de desempenho e aplicações numa habitação de painéis recompostos de madeira, contendo resíduos de madeira em sua

composição material. Relativamente à produção de resíduos no polo, foi possível estabelecer uma estimativa do potencial de resíduos de madeira gerados, em função da quantidade de empresas no polo moveleiro e das possíveis taxas de geração de resíduos em função do porte das empresas. O quantitativo estimado dá indícios de que há a potencial possibilidade de aproveitamento desses resíduos para a produção regional de painéis recompostos aplicáveis e incorporáveis na construção de habitações, aspecto esse que requer outros estudos em termos técnicos, comerciais e de impacto ambiental e social.

ABSTRACT

GOMES, Roziani Maria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2019. **Use of panels produced of wood residues in habitation construction.** Adviser: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá. Co-advisers: Leonardo Gonçalves Pedroti and Marcos Oliveira de Paula.

The utilization of wood in construction as a resistant, durable and ecological sustainable material is known for a long time. But in different integrated parts of the construction system of a habitation it is possible to coexist different materials to obtain architectonic conditions of performance, cost and maintenance. In a habitation, it can be constituted of different types of materials including wood and its derivatives. One option and opportunity to the use of these derivatives in habitation refers to the application of panels recomposed with residues of wood from industrial process intense in wood as raw material, cases when the rejects are thrown in the nature without the proper – or any - treatment. Among the industrial processes with these characteristics, there are the wood furniture productive arrangement, prospect vendors of wood residues such as the Furniture Pole of Ubá – Minas Gerais – Brazil, in which there is not a viable solution to dispose them. Considering this context in the regional scenario, possibilities for aggregation of this residues with sine kind of resin were looked for. Considering the possibility to produce recomposed wood panels to be used in edification. In order to do so, initially, it was examined in the literature possibilities to substitute the solid wood and the conventional masonry by recomposed wood panels. It was verified the properties of wood and recomposed wood materials and solid wood, studied and parts of the constructive system in which could be utilized panels such as MDF, MDP, OSB and plastic wood. Laboratory tests were not part of the present research. The prospection of potential production of industrial residues of wood furniture from the furniture pole of Ubá was guided by a script. Based on elements examined in the literature – wood and its derivatives and the parts of a habitation – it was produced as result a systematization related with property, performance necessity and its applications of wood recomposed panels in a habitation that contains wood residues in its material composition. About the residues in the pole, it was possible to establish a estimative of the potential of wood residues produced in relation to the number of companies in the furniture pole and estimates of wood residues produced in relation to their sizes. With the estimated number there is evidence that there is

potential to use these residues to produce wood recomposed panels regionally and incorporate in the habilitation construction. Technical, commercial and social and environmental impact should also be considered.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Justificativa	3
1.3 Procedimentos metodológicos	4
1.3.1 Material	5
1.3.2 Métodos	5
2 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA	7
2.1 Partes constituintes da edificação	7
2.2 Exigências do usuário	11
2.3 Agentes ambientais relevantes e as condições de exposição da madeira	11
2.4 Uso da madeira maciça e painéis de madeira	14
2.4.1 Uso de painéis de madeira recomposta: resíduos da madeira e resinas	16
3 MADEIRA COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO	21
3.1 Aplicações da madeira maciça em partes constituintes	21
3.1.1 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	24
3.1.2 Propriedades térmicas da madeira maciça	29
3.1.3 Comportamento ao fogo	30
3.1.4 Propriedades elétricas e organolépticas da madeira maciça	30
3.2 Aplicações de painéis de madeira recomposta	30
3.2.1 Painéis MDF (<i>medium density fiberboard</i>)	32
3.2.2 Painéis MDP (<i>medium density particleboard</i>)	35
3.2.3 Painéis OSB (<i>oriented strand board</i>)	37
3.2.4 Madeira plástica - MP (<i>wood plastic composite</i>)	41
4 INDÚSTRIA MOVELEIRA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS	47
4.1 O Polo Moveleiro de Ubá/MG	49
4.2 Quantificação de resíduos no Polo Moveleiro de Ubá	50
4.3 Potencial emprego de resíduos de madeira do Polo Moveleiro de Ubá na fabricação de painéis de madeira recomposta para habitações	59
5 CONCLUSÃO	60
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICES	70
ANEXO	75

1 INTRODUÇÃO

Processos industriais que utilizam a madeira como matéria-prima no seu sistema de produção têm gerado grande quantidade de resíduos, normalmente dispostos e expostos no meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento. Além do desperdício de matéria-prima, resíduos de madeira gerados nas indústrias moveleiras (cavacos, serragem e cepilho) representam potenciais impactadores ambientais, quando descartados em locais inapropriados ou incinerados, por poluírem o ambiente devido a seus materiais componentes (WEBER, 2011).

A madeira maciça é um material resistente e, quando usada de forma correta e com os tratamentos necessários, pode corresponder a um tempo maior de vida útil devido à sua durabilidade (REMADE, 2004). No caso de seu emprego para fins habitacionais, em algumas condições a madeira maciça pode ser substituída por painéis recompostos de madeira fabricados com a incorporação dos citados resíduos. A possibilidade de inserção de painéis de madeira recompostos em partes constituintes de uma habitação pode representar economias. Vesilind e Morgan (2011, *apud* Viola *et al.*, 2012) ressaltam que nem todo material extraído da natureza pode ser utilizado para fins como este. Por exemplo, os que se tornam resíduos industriais devido à má utilização, as sobras de processos industriais que podem ser descartadas no meio ambiente ou utilizadas pela mesma indústria ou enviadas a alguma outra indústria com intercâmbio de resíduos. No caso da madeira, fatores de risco como excesso e ou acúmulo dos resíduos podem, independentemente de suas características, ocasionar transtornos como focos de incêndio quando descartados de forma incorreta e em locais inapropriados (LACOMBE, 2015).

Na construção civil, painéis de madeira possibilitam excelentes soluções de natureza funcional, construtiva e econômica, competindo com sistemas de vedação tradicionais. Os painéis podem ser utilizados tanto para vedação externa como para compartimentação interna das edificações, seja por reduzir cargas na construção e ou por facilitar o transporte e a trabalhabilidade na obra (SUENAGA; BITTENCOURT; TERNI, 2002 *apud* SANTOS; AGUILAR, 2007).

Têm sido alternativas usuais para alguns materiais que são descartados de processos industriais: a reutilização, quando os produtos são usados novamente para a mesma finalidade ou destinados para um segundo uso, ampliando a vida do produto original e reduzindo os resíduos; a reciclagem, que envolve a coleta dos resíduos e o processamento em novos produtos; o descarte, quando não há possibilidade de

nenhuma das soluções anteriores (VESILIND; MORGAN, 2011 *apud* VIOLA, 2012).

Como possibilidade de aplicação em diferentes partes constituintes de construções em madeira, como por exemplo vedações verticais e vedações horizontais, os painéis recompostos de madeira apresentam como vantagem a racionalização e redução do uso de materiais não renováveis em habitações convencionais. Seu emprego em componentes pode reduzir o custo da madeira, cortes das peças e possivelmente o desperdício, além de ampliar o aproveitamento de resíduos das indústrias, minimizando impactos ambientais (WEBER, 2011).

Como material de construção e quanto a aspectos de plasticidade no projeto, rapidez de montagem e durabilidade, a madeira possui grande importância econômica devido a sua ampla utilização nos setores de construção civil, transporte, mobiliário e de indústrias de componentes pré-fabricados (WEBER, 2011).

Almeida, Logsdon e Jesus (2011) afirmam que o crescente aumento do consumo e a exploração inadequada das florestas brasileiras indicam a necessidade de produzir painéis utilizando-se dos resíduos para melhor aproveitamento. Estudo realizado por Blanchet, Cloutier e Riedl (2000) mostram que a confecção de painéis recompostos de madeira com resíduo de pinus é viável tecnicamente e é possível sua utilização em recintos fechados. Alencar e Moura (2014) argumentam que os painéis podem ser formados com espécies de madeira diferentes, o que pode aumentar ou diminuir a sua resistência mecânica, dependendo das características das espécies. Nesse sentido, uma potencial viabilidade técnica e econômica pode ser o uso de espécies como eucalipto (*eucalyptus*) e pinus (*pinus elliottii*), madeiras bastante utilizadas para a fabricação de móveis no polo da microrregião de Ubá/MG.

Acrescente-se a tal possibilidade o fato de que, sob a ótica empresarial e dos órgãos do poder público ligados à proteção e defesa do meio ambiente, a reciclagem, o reuso e a reutilização de resíduos de madeira gerados pela indústria moveleira são formas atrativas para a solução de problemas de gerenciamento de resíduos (ROCCA *et al.*, 1993 *apud* TÔRRES FILHO, 2005). No caso de habitações, são aspectos relevantes a considerar para viabilizar o uso de painéis: a qualidade dos componentes fabricados a partir dos resíduos de madeira; a durabilidade; o conforto; a segurança estrutural e patrimonial; o custo para sua inserção; e a manutenção.

Assim, usar painéis recompostos com resíduos de madeira derivados da indústria moveleira em habitações requer conhecer as partes de uma edificação em que poderiam ser aplicados, em função das condições de exposição, as características dos painéis atualmente existentes no mercado e, regionalmente, a

capacidade de geração de resíduos de madeira pelo Polo Moveleiro de Ubá/MG, sob a perspectiva de este polo poder ser um potencial contribuinte para a fabricação de painéis na região.

Para isso, o desenvolvimento da pesquisa pautou-se nas seguintes questões:

- ▶ Para que partes constituintes de uma habitação, e sob quais condições de exposição em uso/serviço, o emprego de painéis recompostos de madeira residuária poderia ser aplicável em substituição à madeira maciça?
- ▶ Qual o potencial de geração de resíduos de madeira pelo Polo Moveleiro de Ubá/MG, caso este possa ser identificado como um contribuinte para a fabricação de painéis de madeira recomposta?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Investigar painéis de madeira recomposta quanto a aplicação em diferentes partes integrantes do sistema construtivo de habitações.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) identificar partes constituintes de uma habitação com potencial para uso de painéis recompostos com resíduos de madeira, em distintas condições de exposição e desempenho;
- b) distinguir, para fins de construção de habitações, propriedades da madeira maciça e propriedades de painéis de madeira recomposta com o aproveitamento de resíduos de madeira gerados em indústrias do setor moveleiro;
- c) levantar a potencial geração de resíduos de madeira em indústrias do Polo Moveleiro da microrregião de Ubá/MG na produção de painéis recompostos com resíduos de madeira para aplicação em partes constituintes de habitações.

1.2 Justificativa

Conhecer as propriedades da madeira maciça e de painéis recompostos de resíduos da madeira é de grande importância por exercerem influência na qualidade da edificação e de seu custo, razão pela qual estudos e pesquisas sobre o uso desses materiais em construções podem ser instrumento de orientação para o emprego e direcionamento de novas alternativas para projetos na construção civil e arquitetura.

O uso de resíduos de madeira na composição de painéis de madeira, de acordo com a literatura, mostra-se tecnicamente viável devido às características que esses painéis apresentam. Uma alternativa pode ser usar painéis fabricados com resíduos

de madeira nas habitações convencionais, daí advindo economias no processo construtivo e mitigação de danos ambientais.

Com relação à geração e ao possível uso de resíduos de madeira, nesta pesquisa foram coletados alguns dados sobre produção e destinação de resíduos de madeira na microrregião de Ubá/MG, um dos maiores polos moveleiros do Brasil. Neste polo, uma preocupação atual em face de implicações ambientais danosas de natureza social e econômica é a destinação dos resíduos gerados nos processos das suas indústrias de fabricação de móveis de madeira.

Assim, ter na construção de habitações uma alternativa para utilizar esses resíduos na composição de painéis de madeira poderá beneficiar não só a microrregião de Ubá/MG, mas toda a sociedade, principalmente se se considerar que as indústrias passarão a ter uma destinação sustentável para os resíduos, partindo-se do pressuposto que isto implicará numa redução de impactos ambientais. Também há que se considerar que esses resíduos, por não terem em sua composição somente madeira (colas e vernizes, por exemplo), se incinerados podem liberar substâncias que causam poluição ao meio ambiente.

1.3 Procedimentos metodológicos

Para esta pesquisa, de caráter exploratório e descritivo, parte das informações apresentadas tiveram fundamentação teórica na literatura. A ênfase foi em aplicações de painéis recompostos de madeira em diferentes partes constituintes de uma habitação.

O embasamento bibliográfico permitiu identificar limitações e possibilidades de emprego de painéis fabricados com madeira residuária como partes constituintes de uma habitação, em paralelo ao uso da madeira maciça.

Parte relevante da revisão refere-se às propriedades da madeira maciça e dos painéis recompostos de madeira, tendo em vista que o estudo foi realizado com espécies usualmente empregadas nas habitações, resultando em um levantamento de informações técnicas sobre painéis feitos com resíduos, em termos de propriedades, composição e processo de produção.

A investigação compilou os dados disponíveis em pesquisas já realizadas em outros experimentos, relacionadas principalmente com a determinação de propriedades físicas e mecânicas.

A obtenção de dados em empresas consistiu na identificação das etapas do processo de geração dos resíduos de madeira na cadeia logística das indústrias

moveleiras, quando a madeira passa por laminação, corte, serragem etc., considerando-se que no processo de produção uma percentagem da matéria-prima, seja madeira maciça e painéis junto a outros materiais que, quando descartados de forma incorreta, provocam danos ambientais.

No que se refere ao Polo Moveleiro de Ubá/MG, foi realizado um levantamento de dados relacionados à quantidade de resíduos de madeira junto à Abimóvel – Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário e ao Intersind – Sindicato Intermunicipal das Indústrias do Mobiliário de Ubá/MG, e contato com algumas empresas visando a obtenção de informações sobre a geração de resíduos de madeira. Foram identificadas nesse setor as indústrias que usam madeira maciça e ou painéis de madeira e geram os tipos mais comuns de resíduos (serragem, cepilho e cavaco).

1.3.1 Material

Para obtenção de informações sobre madeira maciça, fabricação de painéis recompostos de resíduos, propriedades físicas e mecânicas e a investigação para uso nas habitações, recorreu-se aos seguintes materiais: teses, dissertações, periódicos, normas, livros e outras publicações técnicas. Dados de resíduos gerados nos processos produtivos e a consequente destinação deles foram gentilmente disponibilizados por empresas associadas ao Intersind.

1.3.2 Métodos

- Para concretizar os objetivos, a pesquisa foi operacionalizada em três etapas:
- a) identificação de partes constituintes de uma habitação e da inserção de painéis recompostos de madeira integrando o sistema construtivo, etapa esta realizada mediante revisão da literatura, sendo observadas formas e funções com potencial para uso de painéis recompostos de madeira como parte do sistema construtivo;
 - b) conhecimento das características e propriedades da madeira maciça e dos painéis recompostos de madeira como componentes na construção: embasada em pesquisas acadêmicas publicadas e em normas sobre o tema, essa etapa relaciona propriedades dos tipos de painéis derivados da madeira compostos com as espécies mais comuns (eucalipto e pinus) e propriedades da madeira maciça, com utilizações já consolidadas no mercado, observando-se, para fins da construção civil, o conhecimento existente sobre a madeira maciça e os painéis recompostos de madeira;
 - c) obtenção de dados sobre tipos e quantidades de resíduos de madeira gerados em

indústrias do polo moveleiro da microrregião de Ubá/MG, e a destinação: um levantamento junto ao Intersind, considerado como representativo do setor, permitiu compor o grupo participante desta pesquisa. Observando-se os critérios de volume de produção de móveis, ênfase na fabricação de produtos utilizando madeira maciça e painéis recompostos de madeira e localização/facilidade de contato/acesso, das 86 empresas associadas ao Intersind, 17 gentilmente colaboraram com a pesquisa (19,76% das associadas ao Intersind), as quais forneceram dados de acordo com o roteiro do Apêndice C. Os dados foram obtidos de setembro a novembro de 2018 e analisados utilizando-se estatística descritiva.

2 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA

2.1 Partes constituintes da edificação

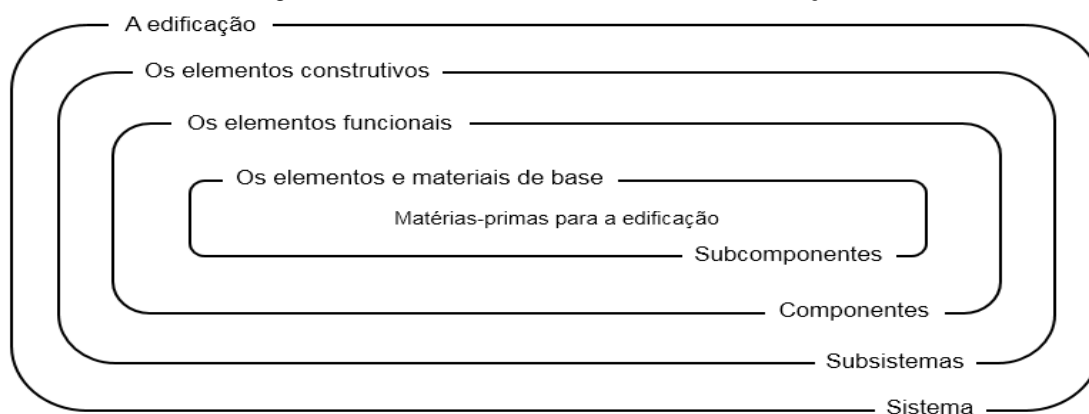
A utilização de qualquer painel recomposto de madeira está diretamente associada à sua capacidade de responder ao desempenho requerido do produto em que é aplicado, aspecto atrelado às suas propriedades físicas e mecânicas. Quanto ao uso e à aplicação dos diferentes tipos de painéis, as restrições técnicas envolvem características como resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície, tolerância à usinagem, resistência do material no emprego de elementos de fixação, como parafusos e pregos, entre outros (ABIMCI, 2009).

Para identificação e compreensão do sistema construtivo, como um todo, é preciso entender as partes que o constituem, observando-se o relacionamento entre partes funcionais verticais e horizontais.

Para compreensão e análise do sistema construtivo e das partes que o compõem, foi realizada uma síntese de informações (v. Apêndice A) embasada em artigos, dissertações, teses e normas de desempenho como, por exemplo, a NBR 7190 - Projeto de estrutura em madeira (ABNT, 1997) e a NBR 14810 - Painéis de partículas de média densidade (ABNT, 2013). Esses documentos referem-se ao emprego de madeira maciça, madeira plástica (*wood plastic composite*), painéis recompostos de madeira - OSB (*oriented strand board*), MDP (*medium density particleboard*), MDF (*medium density fiberboard*) e aglomerado, quanto às condições para usá-los, as propriedades, os requisitos e os critérios de desempenho e agentes relevantes. Os estudos levaram em consideração as partes do sistema construtivo em madeira e as condições de habitabilidade. Com esse levantamento verificou-se a aplicação dos materiais nas partes constituintes de uma edificação (v. Apêndice B).

Mandolesi (1981) ilustra o desdobramento sistêmico da edificação (Figura 1), definindo que a estrutura da edificação deve ser compreendida de forma global, pois o sistema é formado por um conjunto de peças e ou elementos que possuem função de se integrarem e garantirem as condições estáticas, de segurança e de conforto.

Figura 1 – Desdobramento sistêmico da edificação



Fonte: Mandolesi (1981).

Um desdobramento das partes constituintes do edifício é apresentado por Antonioli (2003, p.3-4) do seguinte modo: “A classificação dos elementos do edifício, segundo a função que desempenham [...] está associada ao uso que se pretende fazer do espaço construído, o que determinará as solicitações impostas ao edifício e aos seus sistemas”. O autor [p. 3] destaca ainda que “[...] a definição de funcionalidade adotada pela ASTM – American Society for Testing and Materials é: ‘ser adequado para um uso particular ou função’” e apresenta o Quadro 1 contendo a classificação da ASTM, que também pode subsidiar análises das partes. [Nota: traduziu-se o quadro compatibilizando-o terminologicamente com Mandolesi (1981).]

Quadro 1 – Classificação das partes de um sistema-edificação

Nível 1 – Subsistemas <i>[major group elements]</i>	Nível 2 - Componentes <i>[group elements]</i>	Nível 3 - Subcomponentes <i>[individual elements]</i>
A INFRAESTRUTURA	A10 – Fundações	A1010 – Fundações usuais
		A1020 – Fundações especiais
		A1030 – Sapatas
	A20 – Subsolos	A2010 – Escavações
		A2020 – Paredes cortina
B ENVOLTÓRIA	B10 – Superestrutura	B1010 – Partes portantes horizontais e verticais
		B1020 – Partes portantes da cobertura
	B20 – Vedações verticais externas	B2010 – Paredes externas
		B2020 – Janelas externas
		B2030 – Portas externas
	B30 – Fechamentos externos horizontais	B3010 – Cobertura
		B3020 – Aberturas em coberturas
C ESPAÇOS INTERNOS	C10 – Vedações verticais internas	C1010 – Divisórias
		C1020 – Portas internas
		C1030 – Instalações
	C20 – Escadas	C2010 – Construção das escadas
		C2020 – Acabamentos das escadas
	C30 – Acabamentos internos	C3010 – Acabamentos de paredes
		C3020 – Acabamentos de pisos
		C3030 – Acabamentos de forros

Quadro 1 – Classificação das partes de um sistema-edifício

Nível 1 – Subsistemas [major group elements]	Nível 2 - Componentes [group elements]	Nível 3 - Subcomponentes [individual elements]
D INSTALAÇÕES DE SERVIÇOS	D10 – Meios de movimentação vertical	D1010 – Elevadores e monta-cargas
		D1020 – Escadas e esteiras rolantes
		D1030 – Outros sistemas de transporte
	D20 – Redes hidráulicas e sanitárias	D2010 – Instalações de tubulações
		D2020 – Distribuição predial de água
		D2030 – Esgoto sanitário
		D2040 – Águas de chuva
		D2090 – Outras tubulações
	D30 – Aquecimento, ventilação e condicionamento do ar	D3010 – Suprimento de energia
		D3020 – Sistemas de aquecimento
		D3030 – Sistemas de refrigeração
		D3040 – Sistemas de distribuição
		D3050 – Unidades terminais
		D3060 – Instrumentação e controle
		D3070 – Sistemas de teste e balanceamento
	D3090 – Outros sistemas e equipamentos	
	D40 – Combate a incêndio	D4010 – <i>Sprinklers</i>
		D4020 – Detectores
		D4030 – Equipamentos
		D4090 – Outros sistemas de proteção ao fogo
D50 – Redes com energização elétrica	D5010 – Suprimento e distribuição	
	D5020 – Iluminação e ramais	
	D5030 – Comunicação e segurança	
	D5090 – Outros sistemas elétricos	
E EQUIPAMENTOS E MOBILIÁRIO	E10 – Equipamentos e aparelhos	E1010 – Equipamentos comerciais
		E1020 – Equipamentos institucionais
		E1030 – Equipamentos veiculares
		E1090 – Outros equipamentos
	E20 – Mobiliário	E2010 – Mobiliário fixo
		E2020 – Mobiliário móvel
F CONSTRUÇÕES ESPECIAIS E DEMOLIÇÕES	F10 – Construções especiais	F1010 – Estruturas especiais
		F1020 – Construções integradas
		F1030 – Sistemas especiais de construção
		F1040 – Sistemas especiais
		F1050 – Controles e instrumentações especiais
	F20 – Demolição seletiva do edifício	F2010 – Demolição de partes do edifício
		F2020 – Atenuação/redução ou eliminação de componentes perigosos

Fonte: National Institute of Standard and Technology - NIST. Uniformat II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis. U.S.A.: Department of Commerce (1999).

Sabbatini (1989, p. 29) define sistema construtivo como um processo construtivo de elevados níveis de organização e industrialização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente interligados pelo processo.

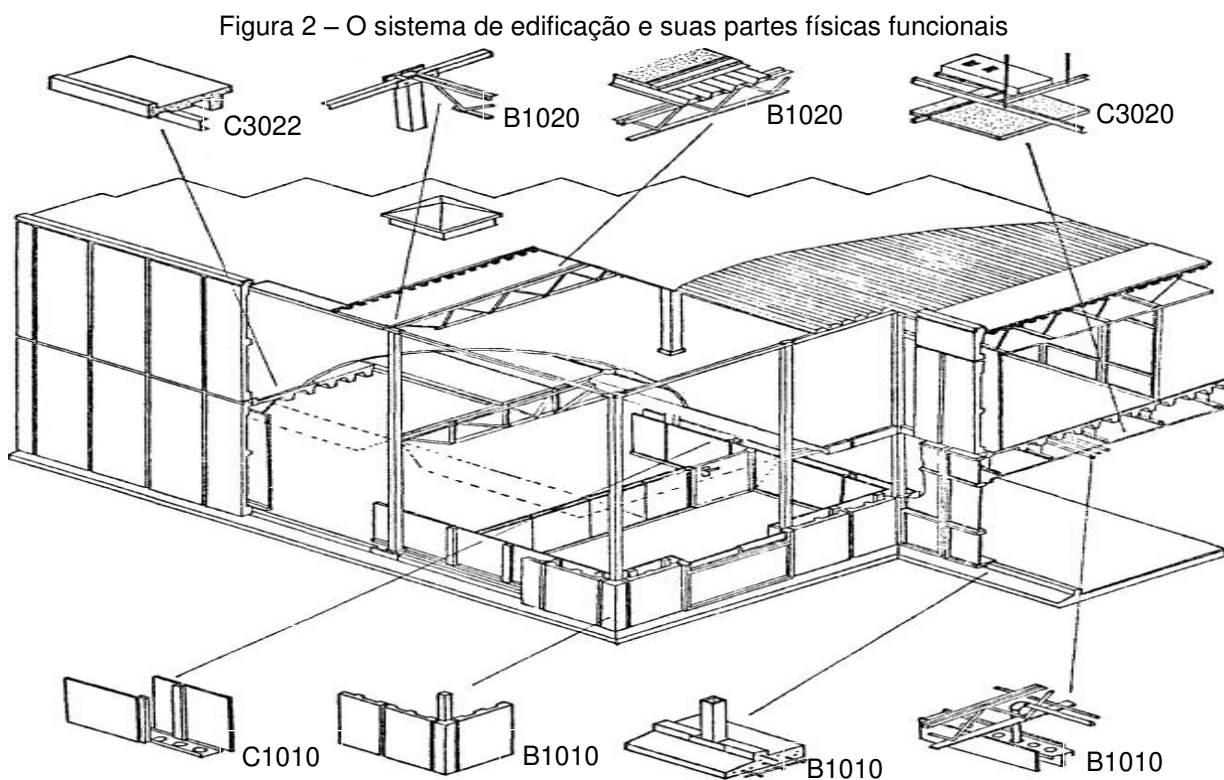
Bonin (1987, p. 37) descreve sistema construtivo da seguinte forma:

[...] a edificação é observada como um conjunto de partes agrupadas compondo uma unidade. Este conjunto de partes é definido como um

sistema construtivo e cada uma das partes como um subsistema elaborado individualmente, porém em coordenação com os demais para coletivamente atenderem os requisitos previamente determinados para a edificação. As características do sistema construtivo são determinadas, portanto, através da avaliação do comportamento integrado dos seus subsistemas constituintes.

Bonin (1987, p. 38) também mostra uma decomposição física da edificação em subsistemas funcionais (Figura 2) e, assim, argumenta sobre a sistematização da edificação:

[...] A sistematização da edificação envolve uma comunicação muito mais intensa em seu processo construtivo, pois não são previstos ajustes especiais entre os subsistemas para cada caso particular, mas um ajuste prévio assegurado na elaboração dos subsistemas pelos fabricantes considerando múltiplas situações de uso para seus produtos.



Fonte: Bonin (1987, p. 38).

Segundo a publicação 'Madeira: Uso sustentável na construção civil' (IPT, 2009), o preconceito brasileiro de uso da madeira na construção de habitações, por usuários e por agentes financeiros, é um dos elementos principais que impedem o emprego intensivo ou alternativo desse material na construção de novas moradias. A objeção decorre do uso inadequado da madeira devido a problemas com secagem, tratamento, projeto, especificações, segurança contra incêndio, entre outros.

2.2 Exigências do usuário

Considerar as exigências do usuário e as condições que devem ser obedecidas para prover uma edificação com conforto, segurança, durabilidade, estanqueidade e habitabilidade é uma necessidade para operacionalizar a sistematização da edificação desde a fase inicial do projeto. No Quadro 2, listam-se as exigências dos usuários para uma habitação (ISO 6241, 1984).

Quadro 2 – Descrição de exigências dos usuários

Exigência do usuário		Descrição
Segurança	Estrutural	Estabilidade e resistência mecânica
	Ao fogo	Limitações do risco de início e propagação de incêndio, retardar a queima
	Ao uso	Segurança dos usuários e contra intrusões
Conforto	Estanqueidade	Aos gases, líquidos e sólidos
	Higrotérmico	Temperatura e umidade do ar, condensação
	Visual	Aclaramento, aspecto dos espaços e das paredes, vista para o exterior
	Acústico	Isolação acústica e níveis de ruídos
	Tátil	Eletricidade estática, rugosidade, umidade, temperatura das superfícies
	Antropodinâmico	Acelerações, vibrações e esforços de manobra
Saúde	Atmosférico	Pureza do ar e limitação de odores
	Higiênico	Cuidados corporais, abastecimento de água, eliminação de materiais usados
Adequabilidade dos espaços		Número, dimensões, geometria e relações de espaços e de equipamentos
Durabilidade		Conservação do desempenho ao longo do tempo
Economia		Custo inicial e custos de manutenção e reposição durante o uso

Fonte: ISO 6241 (1984).

2.3 Agentes ambientais relevantes e as condições de exposição da madeira

A biodeterioração da madeira é influenciada pela exposição a diferentes organismos xilófagos e às condições ambientais que podem favorecer o ataque, razão pela qual é preciso analisar previamente as condições para uso do material e avaliar a necessidade de tratamento preservativo. Nesse sentido, para a execução de estruturas de madeira, devem ser empregadas espécies que apresentem boa resistência natural à biodeterioração ou espécies submetidas a tratamentos preservativos adequados e seguros para as estruturas. Tratamentos preservativos requerem observar as características de tratabilidade da espécie vegetal selecionada, pois existem madeiras mais suscetíveis a determinados métodos ou soluções preservativas NBR 7190 (ABNT, 1997).

Fatores atmosféricos como água, temperatura e radiação solar são fontes de alterações físico-químicas que degradam a madeira e, por consequência, podem causar inchamentos, retrações, fendas, transferindo as degradações superficiais para o interior. Para evitar tais efeitos dos agentes externos, devem-se criar barreiras com revestimentos de proteções superficiais por pintura e ou envernizamento, aumentando sua durabilidade (EUSÉBIO, 2007 *apud* LACOMBE, 2015).

Lelis *et al.* (2001 *apud* WEBER, 2014) afirmam que um mecanismo para auxiliar na tomada de decisões sobre a preservação da madeira para uso na construção civil é o sistema de classes de risco (Quadro 3). O sistema classifica os riscos com base nas condições de exposição e uso, atentando sobre as medidas a serem adotadas durante o projeto e como forma de auxiliar na definição do tratamento. Assim, cabe observar as seguintes etapas ao empregar a madeira na construção civil:

- elaborar o projeto, considerando a infestação por organismos xilófagos;
- definir o nível de desempenho necessário para a estrutura de madeira como, por exemplo, a vida útil;
- avaliar os riscos biológicos, conforme o sistema de classes de risco;
- determinar a necessidade de tratamento preservativo, conforme sua durabilidade natural e tratabilidade do cerne e alburno em função da espécie a ser utilizada.

Quadro 3 – Classes de risco

Classes de risco						
Classe	Local e condições de uso	Exposição à umidade	Agentes biológicos			
			Fungos	Brocas	Cupins	Perfuradores marinhos
1	Acima do solo (coberto e seco)	Nenhuma	Não	Sim	Sim	Não
2	Acima do solo (coberto com riscos de umidade)	Ocasional	Sim	Sim	Sim	Não
3	Acima do solo (não coberto)	Frequente	Sim	Sim	Sim	Não
4	Em contato com solo ou água doce	Permanente	Sim	Sim	Sim	Não
5	Em contato com água salgada	Permanente	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Lelis *et al.* (2001 *apud* WEBER, 2014).

Como é inevitável a ação dos fatores ambientais em construções, medidas construtivas que previnam o surgimento de umidade auxiliam na prevenção da proliferação dos agentes biodeterioradores. Dos agentes ambientais, destacam-se a incidência solar, temperaturas, chuvas e ventos, fatores naturais que induzem consequências que comprometem o desempenho da habitação. Além dos detalhes

construtivos na elaboração do projeto, deve-se agregar outras medidas que diminuam a interferência dos fenômenos climáticos e meteorológicos na construção. Analisar o clima da região onde a obra será locada é imprescindível para as decisões do projeto. Resolver no projeto questões relacionadas com as condições de exposição contribui para bom desempenho da edificação, inibindo a proliferação dos fungos, aumentando a durabilidade e amenizando custos com manutenção (WEBER, 2014).

Moreschi (2014) indica como condições mais comuns para a instalação e o desenvolvimento de fungos na madeira, enquanto fonte de alimento, o teor de umidade da madeira, a temperatura, o teor de oxigênio e o pH. É pouco provável a infestação de diferentes tipos de fungos, havendo um tipo predominante para as condições específicas em que a madeira se encontra. O autor assim esclarece:

- a) fonte de alimento: o material orgânico de que os fungos se alimentam são a celulose, a hemicelulose, a lignina e os extrativos da madeira. Os extrativos podem variar conforme as espécies da madeira: as ricas em açúcares e ou amido são suscetíveis ao ataque por fungos e outros agentes xilófagos; outras espécies podem ser constituídas por compostos fenólicos ou algum tipo de composto biocida, o que garante mais durabilidade à madeira contra ações deterioradoras;
- b) temperatura: a faixa de 5°C a 65°C permite o desenvolvimento dos fungos na madeira, estando a temperatura ótima no intervalo de 24°C a 32°C. Temperatura maior que 46°C é considerada letal, mas há exceções, como os fungos termofílicos;
- c) pH: valores ótimos para o desenvolvimento de fungos xilófagos são entre 4,5 e 5,5, que coincidem com os valores de pH da maioria das espécies de madeira. Mas há estudos que digam ser possível o ataque de fungos com pH de 2,0 a 9,0;
- d) teor de oxigênio: a ausência de oxigênio inibe a ocorrência de fungos, organismos aeróbios que necessitam de oxigênio para sobreviver. Não há necessidade de altos teores: fungos xilófagos já se desenvolvem em níveis de 1% de oxigênio. Seu desenvolvimento normalmente ocorre em níveis de oxigênio abaixo de 20%;
- e) teor de umidade: o propício ao ataque de fungos xilófagos à madeira é o do ponto de saturação das fibras, pois coincide com as outras condições necessárias (oxigênio livre, temperatura, pH e alimento), que também estariam favoráveis. No entanto, os fungos se desenvolvem antes da madeira atingir o ponto de saturação das fibras, quando ainda não perderam sua umidade interior.

Outra condição importante apontada por Lancashire e Taylor (2009) é o armazenamento de peças de madeira no canteiro de obra, que deve seguir algumas especificações para garantir a durabilidade como, por exemplo: em *pallets* sobre base

nivelada para evitar contato direto com o solo ou, se entregues totalmente envoltos em plástico, retirá-lo para haver ventilação e cobri-los parcialmente para proteger da umidade. Ainda, segundo Lelis *et al.* (2001 *apud* WEBER, 2014), uma boa limpeza da obra colabora para prevenir a infestação de organismos xilófagos, eliminando-se ou reduzindo-se no terreno peças de madeira espalhadas e/ou soterradas, ou outros materiais celulósicos, pois são fontes de alimento para esses organismos.

Kokubun (2014), ao se referir ao uso e à manutenção de uma habitação, explica que a qualidade da habitação não depende somente dos processos de produção, mas também do seu desempenho na fase de uso, o qual está ligado a diversos fatores. A avaliação de desempenho é de fundamental importância para analisar os procedimentos adotados desde a fase de projeto, permitindo um processo de retroalimentação e implementação de melhorias no produto.

2.4 Uso da madeira maciça e painéis de madeira

Na engenharia civil, a madeira é usada na construção de casas (principalmente em países do hemisfério Norte), esquadrias, estacas, andaimes, escoramentos, postes, dormentes, cruzetas, painéis, forros, divisórias e pisos (SILVA *et al.*, 2016).

Porém, painéis recompostos de madeira estão surgindo como alternativas de uso de derivados da madeira na construção civil. Associados a algum outro produto, podem ser transformados em elementos, componentes ou subcomponentes para uso no sistema construtivo.

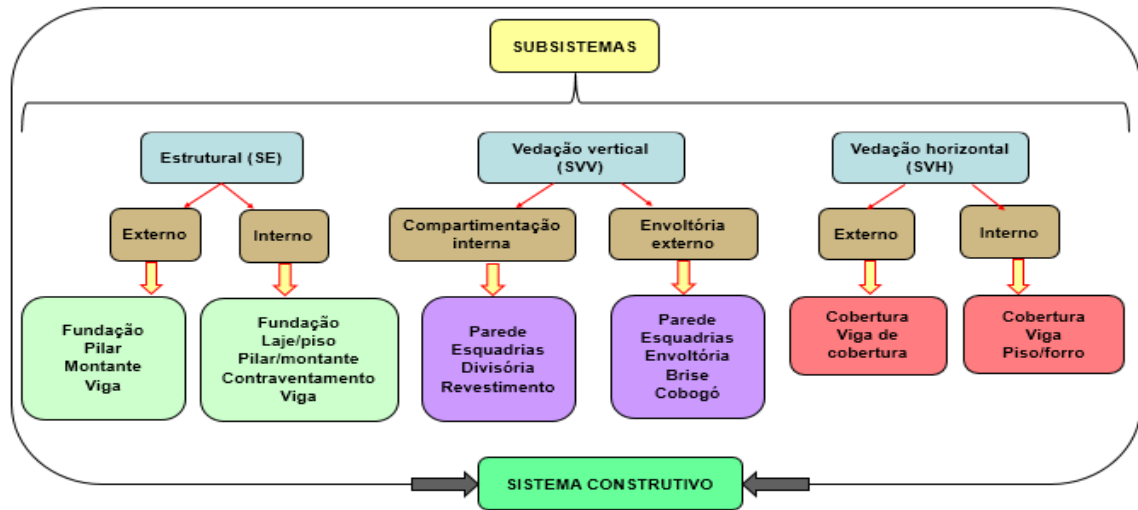
Quando se propõe realizar uma construção em madeira, qualquer que seja, deve-se primeiramente atentar para os seguintes fatores básicos, nesta ordem:

- a) escolha da madeira e verificação de suas propriedades;
- b) fatores ambientais que irão interferir diretamente na construção; e
- c) técnicas que promovam a durabilidade da obra (WEBER, 2014).

Para o caso de processos de projeto para edificações com predominância da madeira, Costa Filho (2017) considera necessário compreender a funcionalidade de cada parte, inter-relacionando-as num todo, sistemicamente, visando a segurança e o conforto ambiental, ajustando exigências de desempenho e conforto.

Para uma sistematização das informações na presente pesquisa, a Figura 3 mostra relações entre as partes constituintes e um dos possíveis desdobramentos para um sistema construtivo em madeira e painéis recompostos de madeira.

Figura 3 – Partes constituintes do sistema construtivo



Fonte: Autora.

Produtos derivados da madeira têm se constituído em alternativa viável para a substituição da madeira maciça em diversas aplicações industriais, seja em partes integrantes da edificação, como as estruturais, ou na indústria do mobiliário e de embalagens. Entre tais derivados, destacam-se os painéis de lâminas, os painéis de partículas e os painéis de fibras (ROCCO LAHR, 2008). Com o desenvolvimento tecnológico no setor de painéis à base de madeira, têm surgido novos produtos à base de madeira que permitem atender demandas cada vez mais específicas (FERREIRA, 2003 *apud* SANTOS; AGUILAR, 2007).

No caso da fabricação de móveis, as indústrias moveleiras utilizam como principais matérias-primas a madeira maciça e os painéis de madeira recomposta (MDF, MDP, OSB). Entretanto, o grande volume de resíduos gerados pela manufatura desses materiais é um desafio ambiental que demanda pesquisas sobre este tema. Nessa direção e na busca de soluções viáveis técnica, econômica, comercial e de impacto social e ambiental para os resíduos de madeira do setor moveleiro, um caminho consiste em mostrar às indústrias alternativas e práticas de reciclagem e do uso racional dos recursos naturais (BNDES, 2002 *apud* GOMES, 2015).

Nesse sentido, destacam-se como razões para o surgimento dos painéis de madeira: amenizar as variações dimensionais da madeira maciça; diminuir seu peso e custo, mantendo-se suas propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Além disso, painéis têm sua aplicação otimizada pelo aumento da sua superfície útil.

Entre os requisitos na escolha da matéria-prima para a fabricação de painéis de madeira recomposta, deve-se considerar a densidade, estabilidade dimensional, acidez e capacidade. Uma das propriedades mais importantes é a composição material do painel por afetar a densidade e as suas propriedades mecânicas. Madeiras

de baixa densidade permitem razões de compactação mais elevadas, o que aumenta a superfície de contato entre as partículas de madeira, melhorando a adesão entre elas. Madeiras de baixa densidade geram painéis com maior uniformidade, que possuem alta capacidade de distribuição de forças entre os flocos, melhorando suas propriedades de resistência à flexão estática e à ligação interna (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; KELLY, 1977; HRÁZSKÝ; KRÁL, 2003 *apud* CABRAL *et al.*, 2006).

2.4.1 Uso de painéis de madeira recomposta: resíduos da madeira e resinas

Os painéis surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade decorrente da escassez e do encarecimento da madeira maciça. A origem dos painéis retrata a necessidade de inovar a aplicação e o uso da madeira como matéria-prima. Surgiram como consequência da busca humana por novos meios de explorar, aproveitar e utilizar ao máximo o potencial da madeira (TORQUATO, 2008). Produtos na forma de painéis foram desenvolvidos a partir de resíduos de madeira serrada e compensada, convertidos em flocos e partículas e colados sob pressão, cujas características mecânicas dependem das dimensões das partículas e do adesivo usado (PFEIL, 2017).

Setubal (2009) informa que o processamento da madeira sólida produz de 15 a 60% de resíduos, que atualmente são queimados ou simplesmente lançados na natureza, causando graves problemas ao meio ambiente, mas que podem ser aproveitados de diversas formas, tais como a fabricação de painéis recompostos. Em serrarias, mesmo com a utilização de altas tecnologias, o processamento mecânico gera no mínimo 40% de resíduo a partir do volume da tora (ANDRADE, 2012). A indústria moveleira, devido às características de seus processos, também é considerada uma grande geradora de resíduos.

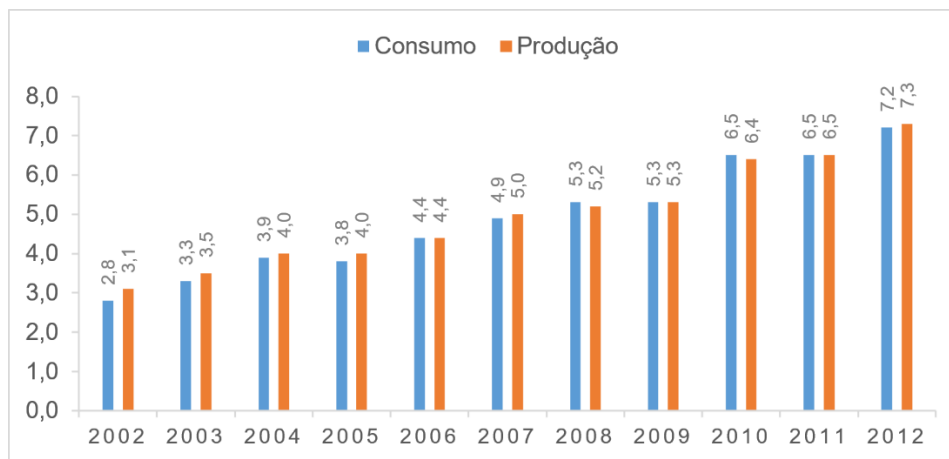
Produtos recompostos de madeira, como os painéis, possuem características diferentes da madeira maciça com relação a sua forma: pode o consumidor fazer a opção das dimensões próprias ao tipo de edificação, aos tipos de superfícies, à uniformidade e ao controle dos defeitos e, com isso, reduzir relativamente o custo, se comparado à madeira maciça que já possui forma e tamanho próprios.

A mistura recomposta de resíduos de madeira, aglomerante e resina é prensada, formando os painéis recompostos de madeira que, depois, poderão receber qualquer tipo de revestimento. Análise realizada por Macedo *et al.* (2015) sobre propriedades físicas de painéis de partículas aglomeradas, constituídos em sua matriz por material lignocelulósico e 20% de embalagens de película de polipropileno

bioorientado, mostrou grande potencial para usos específicos na indústria moveleira e construção civil.

Dados da ABRAF (2013 *apud* PERDOMO, 2015), Figura 4, mostram o constante aumento do uso de painéis de madeira no mercado da construção, tanto em produção quanto em consumo (crescimento médio anual de 8,94%).

Figura 4 – Produção e consumo de painéis de madeira no Brasil (m² - milhões)



Fonte: ABRAF (2013) *apud* Perdomo (2015).

Weber (2011, p. 9) afirma que o destino inadequado, a deposição indevida dos resíduos no meio ambiente ou em aterros industriais provoca, além de danos ambientais, prejuízo econômico, e ressalta que a logística reversa, o reaproveitamento ou o coprocessamento adequado desses resíduos poderiam tornar-se lucrativos à empresa geradora.

Segundo Andrade (2012, p. 13),

[...] os resíduos gerados no processamento da madeira, quando não utilizados, tornam-se um problema econômico e ambiental. Econômico devido à subutilização da madeira, levando a curta duração do estabelecimento das empresas e o baixo valor agregado aos produtos fabricados. Ambiental, oriundo do grande volume de resíduos, acarretando situações preocupantes como a queima e a disposição indevida do material no solo e cursos d'água.

Setubal (2009) define o termo resíduo de madeira associado à palavra problema, pois geralmente sua disposição ou utilização inadequada gera custos altos, que muitas vezes se pretende evitar. Porém, o conhecimento da quantidade, da qualidade e das possibilidades para uso desse material pode ser uma alternativa de utilização que viabilize seu manuseio e aproveitamento.

Considerando que custos tendem a ser fator de impacto nas decisões do cliente no momento preliminar de qualquer método construtivo a ser utilizado, os painéis recompostos de madeira residuária podem ser uma alternativa técnica para viabilizar

essa escolha, e uma possibilidade econômica no sentido de substituir e reduzir os custos dos materiais utilizados convencionalmente, inclusive os da madeira maciça.

Estudos, como os indicados no Quadro 4, apresentam formas de uso e tipos de resíduos e agregados empregados para a fabricação de painéis, assim como os objetivos levantados e se os resultados foram satisfatórios.

Quadro 4 – Levantamento sobre alternativas de uso de resíduos de madeira e resinas na fabricação de painéis

Autores	Objetivos	Resultados
Macedo et al. (2015)	Determinar propriedades físicas de painéis aglomerados homogêneos confeccionados com partículas de madeira de eucaliptos e pinus e embalagens de película de polipropileno biorientado tendo, como adesivo, a resina poliuretana à base de óleo de mamona.	Dos fatores investigados, apenas o uso do impermeabilizante foi significativo. De acordo com a ANSI A208.1 (ANS, 1999), os painéis produzidos são classificados como de alta massa específica (H). Relativamente ao inchamento em espessura por 2h, os painéis atenderam ao exigido pela NBR 14810 (ABNT, 2013) para espessuras de 8 a 13mm.
Andrade (2012)	Utilizar resíduos da laminação para produção de painéis estruturais com características do painel OSL (<i>oriented strand lumber</i>), LSL (<i>laminated strand lumber</i>) e OSB (<i>oriented strand board</i>).	A chapa estudada agrega características atrativas para o mercado de painéis, especialmente para uso estrutural na construção civil. Observou-se que os painéis pesquisados possuem propriedades elevadas de resistência à flexão, alta densidade, teor de umidade conforme a norma e inchamentos em espessura após 24h coerentes com painéis OSB estruturais de uso interno e externo.
Iwakiri et al. (2012)	Avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com resíduos de processamento em serraria de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia.	Indicam a viabilidade técnica de utilização das nove espécies provenientes de florestas tropicais da Amazônia na produção de painéis de madeira aglomerada, com destaque para <i>ecclinusa guianensis</i> <i>eyma</i> (<i>caucho</i>), que apresentou melhores resultados de propriedades físico-mecânicas, utilizando a resina ureia formaldeído.
Negrão et al. (2014)	Investigar a influência do uso de três tipos de adesivo -resina poliuretana bicomponente derivada de mamona, ureia formaldeído e purbond- nas propriedades físicas (densidade aparente, teor de umidade, inchamento em espessura em 2h e em 24h) e mecânicas (módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática; resistência à tração perpendicular às faces) de painéis de partículas aglomeradas constituídos da mistura uniforme de quatro espécies de madeiras tropicais: cedrinho, cordia, fícus e paineira.	Os melhores resultados das propriedades físicas foram obtidos com os materiais fabricados com o adesivo à base de mamona. Os materiais elaborados com resina ureia-formaldeído e purbond apresentaram os melhores resultados para o módulo de elasticidade na flexão, e os fabricados apenas com ureia formaldeído, maiores valores do módulo de ruptura na flexão. Os compostos elaborados com a resina purbond apresentaram os melhores resultados para a resistência à tração perpendicular e, pelos resultados obtidos na análise de variância, constatou-se a validade da estimativa da resistência à tração pela densidade aparente dos painéis fabricados com o uso dos três tipos de adesivo.
Weber (2011)	Avaliar o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados. A resina ureia formaldeído foi utilizada na produção dos painéis, em proporções de 6% e 10% com base no peso seco das partículas de madeira, juntamente com 2% de catalisador e 1% de parafina.	Os tratamentos realizados com painéis produzidos com resíduos de MDP e MDF, compensados e MDF e com a mistura dos três resíduos apresentaram os melhores resultados. Portanto, os resíduos de painéis possuem potencial técnico para produção de painéis de madeira aglomerada, com vantagens econômicas e ambientais.
Lacombe (2015)	Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem das madeiras eucalipto, teca, pinus e peroba e poliestireno expandido para aplicações na construção civil. Foi usado EPS dissolvido, como adesivo.	Quanto às características mecânicas, os resultados foram satisfatórios. Com relação à flexão estática, não atenderam aos critérios, impossibilitando o uso em estruturas.
Almeida e Logsdon (2012)	Contribuir para o reaproveitamento de isopor descartado, diminuindo a quantidade de resíduos plásticos, bem como a redução do emprego de materiais naturais, uma vez que as partículas de madeira a serem utilizadas podem ser encontradas em abundância em serrarias.	É possível produzir painéis aglomerados utilizando serragem, com múltiplas espécies, como partículas, e EPS, como adesivo, dissolvidos em 2000ml de gasolina e adição de 250 ml de água na proporção de 50% EPS e 50% serragem.

Fonte: A autora (2019).

Numa edificação constituída por painéis, subsistemas da construção como os painéis de vedação vertical e de vedação horizontal são precisamente cortados e montados em sequência na fábrica. Posteriormente, são enviados ao canteiro de obras onde são montados sobre uma fundação permanente. Os painéis de parede podem ser abertos ou fechados. São considerados abertos quando a ossatura da parede é revestida por painéis apenas no lado exterior, enquanto o interior permanece sem vedação para a adição das instalações elétrica e hidráulica no canteiro (Figura 5). Os painéis fechados são aqueles em que a parede é inteiramente montada na fábrica, inclusive as instalações elétricas e hidráulicas (Figura 6) (ESPÍNDOLA, 2010).

Figura 5 – Montagem de casa constituída por painéis abertos



Fonte: Espíndola (2010).

Figura 6 – Painel fechado com instalações hidráulicas



Fonte: Bensonwood (2006).

Esses exemplos mostram que a utilização de painéis pré-moldados, compostos com resíduos de madeira de reflorestamento usada por indústrias moveleiras, pode aliar o desempenho ambiental da madeira com a rapidez da produção em canteiro e a otimização da fabricação de componentes construtivos, a despeito de intempéries, pois podem ser produzidos em ambientes fechados. Esses painéis apresentam grande flexibilidade em relação à associação de novas partes constituintes ou materiais - naturais ou sintéticos (SANTOS; AGUILAR, 2007).

3 MADEIRA COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO

3.1 Aplicações da madeira maciça em partes constituintes

As madeiras podem ser classificadas em duas categorias principais, segundo seus grupos vegetais: gimnospermas e angiospermas. As gimnospermas, mais especificamente as coníferas, são conhecidas como resinosas, não porosas ou, mais comumente, macias. O termo 'não porosa' se refere ao fato de essas madeiras não apresentarem vasos ou 'poros'. Já as angiospermas, especificamente as dicotiledôneas, são denominadas folhosas, porosas ou duras. Essa última denominação é por vezes desvantajosa, já que algumas madeiras duras, como a balsa (*ochroma pyramidale*), são muito mais moles do que a maioria das chamadas madeiras macias e, por outro lado, algumas madeiras macias, como o teixo (*taxus baccata*), são muito mais duras do que a maioria das madeiras duras (OHARA, 2011).

A madeira e seus derivados são sólidos com estrutura capilar, capazes de absorver ou perder água para o meio em que se encontram. Como resultado, surgem as variações dimensionais e de constituição, as quais interferem significativamente nas suas propriedades físicas e mecânicas. Essa característica torna a madeira um material higroscópico, fazendo com que tenha constantes alterações no teor de umidade de equilíbrio em consonância com a umidade relativa do ambiente em que se encontra. Essa característica é explicada por sua constituição química, que é formada basicamente por polímeros de celulose, hemicelulose e lignina. Dentre estas, a hemicelulose é a mais hidrófila e, conseqüentemente, a que mais contribui para alterações dimensionais (MELO, 2013).

Para fins de construção civil, as madeiras utilizadas podem ser classificadas em duas categorias: 1) madeira maciça (madeira bruta ou roliça; madeira falquejada; madeira serrada); 2) madeira industrializada (madeira compensada; madeira laminada e colada; madeira recomposta). Para a madeira recomposta, encontram-se produtos na forma de placas, desenvolvidos a partir de resíduos de madeira em flocos, lamelas ou partículas (PFEIL, 2017).

Ao se referir à madeira para uso geral, a ABNT NBR 12498:2017 determina a observância de alguns aspectos como:

1. locais de medição: a largura, a espessura e o comprimento devem ser medidos, respectivamente, nos pontos mais estratégicos, mais finos e mais curtos da peça, exceto quando houver presença de esmoado¹;
2. dimensões e teor de umidade: a) as dimensões nominais são as que a peça deve ter quando seu teor de umidade for igual a 20%; b) num teor de umidade igual a 20%, nenhuma peça pode ter dimensões reais inferiores às nominais; c) quando a madeira for comercializada a um teor de umidade maior que 20%, as peças devem apresentar sobremedidas, a fim de se compensarem as contrações decorrentes do processo de secagem;
3. quando a madeira for comercializada a um teor de umidade menor que 20%, as dimensões nominais das peças e respectivas tolerâncias devem ser especificadas em contrato.

Quanto às dimensões, as espessuras nominais devem ser as seguintes (em milímetros): 12, 16, 19, 22, 25, 32, 36, 38, 40, 44, 50, 63, 75 e 100. As larguras nominais devem ser medidas em múltiplos de 25mm, a partir 25mm até 300mm. As peças de madeira com comprimentos nominais de no mínimo 1,8m e no máximo 4,2m devem ser medidas em múltiplos de 0,3m. Peças de madeira com comprimentos inferiores a 1,8m, até um mínimo de 0,6m (curtos), devem ser medidas em múltiplos de 0,1m. Além do comprimento, também podem ser permitidas variações de espessura e largura como indicado nos Quadros 5 e 6, respectivamente.

Quadro 5 – Variação da espessura

Espessura nominal [mm]	Variação máxima permitida [mm]
12 a 25	3
32 a 50	4
63 a 100	6

Fonte: ABNT NBR 12498:2017.

Quadro 6 – Variação da largura

Largura nominal [mm]	Variação máxima permitida [mm]
25 a 50	6
75 a 100	8
125 a 200	10
225 a 300	13

Fonte: ABNT NBR 12498:2017.

A variação máxima permitida para o comprimento deve ser de 15cm, exceto para peças curtas, onde deve ser permitida uma variação de máxima de 5cm.

¹ Esmoado: defeito da madeira

Quanto às propriedades da madeira, elas são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo-se distinguir os valores correspondentes à tração aos correspondentes valores à compressão, bem como os valores semelhantes à direção paralela às fibras e à direção normal às fibras. Além dos valores das diferentes classes de umidade (ABNT NBR 7190:1997).

Em indústrias moveleiras e para obras na construção civil, o eucalipto e o pinus são espécies de madeira bastante utilizadas. A correta utilização e adequação dessas espécies, ou de outra espécie qualquer, como parte constituinte de edificações depende do conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas (YOJO, 2007). Essas propriedades são de grande importância na definição das aplicações a que são destinadas e no dimensionamento, com segurança, das partes de uma estrutura constituídas com esse material. Conhecer os valores das propriedades permite classificar as madeiras em usos a que se mostram mais apropriadas como, por exemplo, peças estruturais e ambientes internos e externos de habitações (ARAÚJO, 2007).

No caso do eucalipto, sua identificação pela cor não é o bastante, pois suas características físico-mecânicas variam com espécie, idade, localização geográfica, posição ao longo do tronco, sentido, medula/casca etc. Para fim estrutural, é necessária a secagem da madeira até o teor de umidade de equilíbrio compatível com as condições climáticas do ambiente. Quando se tratar de esquadrias, outros requisitos físicos e mecânicos devem ser considerados como: textura, densidade de massa moderada e uniforme, facilidade de colagem, boa aceitação de acabamento, resistência biológica, grã reta, ausência de nós e bolsas de resina, facilidade de secagem e resistência ao arrancamento de parafusos (YOJO, 2007).

Youngquist (1999 *apud* FERREIRA, 2010) afirma que as propriedades da madeira variam entre espécies, entre árvores da mesma espécie e entre amostras da mesma árvore. Ressalta que as propriedades da madeira maciça não correspondem às da madeira recomposta no que concerne a sua variação, considerando-se que sua composição pode ser controlada durante o processo de produção dos painéis. Quando as variáveis do processo são selecionadas, o resultado pode muitas vezes ultrapassar o melhor esforço da natureza. Enquanto na madeira maciça a mudança de suas propriedades é estudada em nível celular, em painéis de madeira recomposta a mudança das propriedades é estudada em termos de fibras, partículas, flocos ou lâminas. Nos painéis, as propriedades podem ser alteradas pela combinação, reorganização ou modificação desses elementos.

Os principais impactos tecnológicos nas características das madeiras passam pelo melhoramento florestal e práticas de silviculturas e de manejo, além das etapas de processamentos primário e secundário. Para determinados usos, a qualidade da madeira pode ser melhorada, modificada ou ter alguns fatores minimizados ou controlados, mediante atuação conjunta dos setores de produção florestal e industrial, integrando silvicultores com técnicos e engenheiros da área de processamento (EUCALIPTO, 2003 *apud* LOBÃO *et al.*, 2004).

3.1.1 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

A madeira é um material com potencial para diversos usos como geração de energia, celulose, construções civis, construções rurais e móveis. Por ser um material heterogêneo, apresenta variações químicas, físicas e anatômicas entre espécies, numa mesma espécie e num mesmo indivíduo (VALE, 2016).

Na escolha do uso final, o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas das madeiras é de relevância na definição das aplicações a que são destinadas e no dimensionamento, com segurança, das partes componentes de uma estrutura com esse material. Os parâmetros dessas propriedades permitem que as madeiras sejam classificadas em usos a que se mostram mais apropriadas como, por exemplo, em peças estruturais, ambientes internos e externos de habitações, móveis, painéis e embalagens (ARAÚJO, 2007).

Duas das principais propriedades físicas da madeira são a massa específica (ou densidade), expressa pelo quociente entre a massa e o volume, e a instabilidade dimensional, representada pela variação das dimensões (linear e volumétrica) em função do teor de umidade. As principais propriedades mecânicas referem-se à resistência à ação de forças externas, tais como compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento (ARAÚJO, 2007).

Para aplicar a madeira como material construtivo, Costa Filho (2017) salienta que é preciso conhecer as propriedades físicas e mecânicas de cada espécie de madeira e o estabelecimento de critérios para seu uso final. Considerando-se que as propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, com variação dentro das espécies devido a fatores genéticos e ambientais, é necessário o conhecimento da densidade básica, resistência, rigidez e umidade para aplicação do material como sistema construtivo.

Sobre a umidade da madeira, Pfeil (2017) evidencia.

[...] a umidade da madeira tem grande importância sobre as suas propriedades. O grau de umidade U é o peso de água contido na

madeira expresso como uma porcentagem do peso da madeira seca em estufa. A quantidade de água das madeiras verdes varia muito com as espécies e com a estação do ano. A faixa de variação da umidade das madeiras verdes tem como limites aproximados 30% para as madeiras mais resistentes e 130% para as madeiras mais macias. A umidade da madeira se faz presente de duas formas: água no interior da cavidade das células ocas e absorvida nas paredes das fibras. Devido à natureza higroscópica da madeira, o grau de umidade de uma peça em serviço varia continuamente, podendo haver variações diárias ou de estação.

Conforme ABNT NBR 7190:1997, as classes de resistência das madeiras têm por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais. O enquadramento de peças de madeira nas classes de resistência especificadas nas Tabelas 1 e 2 deve ser feito conforme as exigências definidas, devendo respeitar as seguintes condições:

- a) as peças de madeira podem ser classificadas como de primeira categoria somente se classificadas como isentas de defeitos por meio do método visual normalizado e também submetidas a uma classificação mecânica para enquadramento nas classes de resistência. Não se permite classificar as madeiras como de primeira categoria apenas por meio de método visual de classificação;
- b) as peças serão classificadas como de segunda categoria quando não houver a aplicação simultânea da classificação visual e mecânica;
- c) a utilização de máquinas automáticas de classificação mecânica permite enquadrar as peças em lotes de rigidez homogênea;
- d) para o enquadramento nas classes de resistência, para as madeiras de primeira ou de segunda categoria, deve ser feita pelo menos a caracterização simplificada;
- e) a aceitação de um lote de madeira como pertencente a uma das classes de resistência é feita sob a condição $f_{c0k,ef} \geq f_{c0k}$.

Tabela 1 – Classes de resistência das coníferas

Coníferas [Valores na condição-padrão de referência U = 12%]					
Classes	f_{c0k} [MPa]	f_{vk} [MPa]	$E_{c0,m}$ [MPa]	$\rho_{bas,m}$ [kg/m³]	$\rho_{parente}$ [kg/m³]
C 20	20	4	3500	400	500
C 25	25	5	8500	450	550
C 30	30	6	14500	500	600

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Tabela 2 – Classes de resistência das dicotiledôneas

Dicotiledôneas [Valores na condição-padrão de referência U = 12%]					
Classes	f_{c0k} [MPa]	f_{vk} [MPa]	$E_{c0,m}$ [MPa]	$\rho_{bas,m}$ [kg/m ³]	$\rho_{parente}$ [kg/m ³]
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Normalmente a resistência da madeira à tração não é muito empregada em pesquisas tecnológicas devido à complexidade de sua determinação. Sua importância e significância são bem menores que as outras propriedades de resistência, uma vez que a tração determinada em corpos de prova, livres de defeitos, praticamente não é correlacionada com a tração real de peças dimensionadas para uso normal (MORESCHI, 2014).

A resistência mecânica da madeira consiste na capacidade de sustentar cargas ou forças. Já a resistência à deformação determina a proporção em que o material é comprimido, fletido ou distorcido sob o efeito da carga e força. Carvalho (1996) apresenta, para fins de construção, propriedades de resistência mecânica que a madeira deve possuir em algumas situações de desempenho das peças, como:

- resistência à flexão - determina a carga que uma viga pode suportar;
- resistência à compressão paralela ao fio da madeira - determina a carga que um pilar ou um barrote pode suportar;
- compressão perpendicular ao fio da madeira - importante em tirantes, componentes de estruturas reconstituídas e definição de ligações entre elementos estruturais;
- resistência ao corte paralelo ao fio da madeira - frequentemente determina a capacidade de carga de vigas curtas;
- fragilidade - medida da quantidade de trabalho desenvolvida em pequenas peças submetidas à flexão dinâmica;
- resiliência - medida da quantidade de energia absorvida quando uma peça é fletida dentro dos limites da sua elasticidade;
- dureza de canto - relativa à resistência à endentação, como em pavimentos;
- tração perpendicular ao fio da madeira - importante na definição das ligações entre elementos de madeira numa construção;
- trabalho para a carga máxima - medida da energia absorvida por uma peça quando suavemente fletida;

- módulo de elasticidade - medida da resistência à deformação por flexão, isto é, diretamente relativa à rigidez de uma viga; também fator de resistência de uma coluna comprida;
- módulo de elasticidade paralelo ao fio da madeira - medida da resistência à deformação por alongamento ou encurtamento de uma peça sob uniforme tração ou compressão, respectivamente.

Evans *et al.* (2000) afirmam que as propriedades mecânicas da madeira dependem principalmente da densidade básica, da percentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós.

Em função do ciclo de crescimento da árvore, a densidade básica aumenta rapidamente durante o período juvenil, depois mais lentamente até atingir a maturidade, quando permanece mais ou menos constante, sendo que a madeira de lenho tardio apresenta densidade básica maior que a de lenho juvenil. Considera-se que as propriedades de resistência à flexão estática e seu MOE (módulo de elasticidade) estão correlacionados com a densidade e com as dimensões das células. A relação entre densidade e as propriedades mecânicas pode ser alterada pela presença de extrativos que se adicionam à massa lenhosa, aumentando principalmente a resistência à compressão axial da madeira. A efetiva resistência da madeira a alguma forma particular de aplicação de esforços é função não só da quantidade total da parede celular, mas também da proporção dos componentes das células estabelecidas em dada espécie e da quantidade de extrativos presentes no lúmen das células (PANSIN; DE ZEEUW, 1980 *apud* LOBÃO *et al.*, 2004).

Calil Júnior (2003) reitera que propriedades como resistência à compressão, durabilidade e massa específica variam de acordo com a espécie botânica, devendo esses aspectos serem levados em consideração num projeto de edificação. Pela facilidade do desdobro, as madeiras de reflorestamento são as mais empregadas em edificações, permitindo a industrialização de peças prontas para cada tipo de utilização e para facilidade da execução.

As classes de umidade (Tabela 3) têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas. Estas classes também podem ser utilizadas para a escolha de métodos de tratamentos preservativos das madeiras (ABNT NBR 7190:1997).

Tabela 3 – Classes de umidade

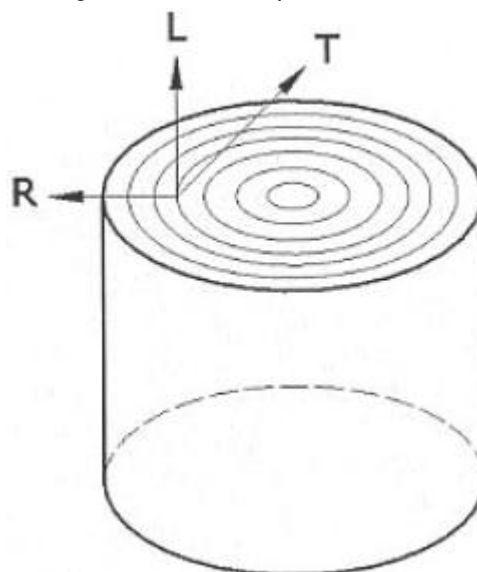
Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb} [%]	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq} [%]
1	65	12
2	$65 < U_{amb} \leq 75$	15
3	$75 < U_{amb} \leq 85$	18
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	≥ 25

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. Entretanto, em paralelo a essas vantagens, são mais difíceis à trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade (MORESCHI, 2014).

Conforme Pfeil (2017), em termos de propriedades mecânicas e elásticas da madeira, o fenômeno da anisotropia manifesta-se devido à orientação das suas células, o que faz com que seja um material que apresenta três direções principais: longitudinal, radial e tangencial (Figura 7). Grandes influências da anisotropia são determinadas principalmente pela direção paralela ou perpendicular às fibras, quase não sendo observadas quando se consideram os sentidos tangencial e radial, como ocorre no caso da contração e do inchamento da madeira (MORESCHI, 2014). A diferença de propriedades entre as direções radial e tangencial raramente tem importância prática, bastando diferenciar as propriedades na direção das fibras principais (direção longitudinal) e na direção perpendicular às mesmas.

Figura 7 – Anisotropia da madeira



Fonte: Pfeil (2017).

Outra propriedade da madeira maciça é a elasticidade, a qual a possibilita retomar a sua forma original após a remoção da carga aplicada que causou certa

deformação. As propriedades elásticas (reversíveis) são características de corpos sólidos, observadas quando a deformação causada pela carga aplicada se situa abaixo do limite proporcional de elasticidade. Quando essa mesma carga se situa sobre este limite, ocorrerão também deformações plásticas (irreversíveis), seguidas pela ruptura do material (MORESCHI, 2014).

3.1.2 Propriedades térmicas da madeira maciça

Quanto às propriedades térmicas da madeira, Moreschi (2014) destaca quatro como mais relevantes:

1. condutividade térmica [W/(m.K)]: é capacidade de uma substância conduzir energia térmica; numericamente, equivale à quantidade de calor transmitida na direção normal à seção reta de uma superfície de área unitária, por unidade de tempo, num material com espessura unitária, submetida a um gradiente unitário de temperatura entre as extremidades longitudinais;
2. calor específico [J/(kg.K)]: representa a quantidade de energia térmica que propicia, numa substância, a sua variação de temperatura em uma unidade por unidade de massa;
3. transmissão térmica [m²/s]: representa a medida do quão rápido um material pode absorver calor de suas imediações; essa propriedade é representada pelo fator dado pela relação entre condutividade térmica e o produto do calor específico com a massa específica da madeira;

$$a = k/(C.r)$$

sendo:

a = fator de transmissão de calor;

k = coeficiente de condutividade térmica;

C = calor específico;

r = massa específica [kg/m³].

4. coeficiente de expansão térmica, dilatação [K⁻¹]: é a medida da alteração de dimensão causada pela variação de temperatura – expande pelo aquecimento e retrai pelo resfriamento.

Moreschi (2014) afirma que a condutividade térmica da madeira se mostra capaz de isolar o ambiente interno, impedindo que o fluxo de calor permaneça em edificações, mantendo a temperatura estável. A manifestação do calor acontece pela variação de um potencial que é a temperatura.

3.1.3 Comportamento ao fogo

A resistência da madeira, o baixo peso e o consumo energético são características essenciais, capazes de suportar sobrecargas de curta duração. Grandes peças de madeira têm boa resistência ao fogo, melhor que outros materiais em condições severas de exposição (CALIL JÚNIOR, 2002).

A capacidade dos elementos e componentes construtivos de atenderem às funções de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico por um período pré-determinado determina a resistência ao fogo. Nas condições de incêndio, a redução das propriedades mecânicas do elemento estrutural deve ser tal que a seção transversal remanescente seja capaz de suportar cargas durante o tempo de exposição ao fogo exigido pelos códigos vigentes; uma estrutura entrará em colapso quando a tensão de resistência máxima for atingida (MORAES *et al.*, 2000 *apud* CALIL JÚNIOR, 2004).

3.1.4 Propriedades elétricas e organoléticas da madeira maciça

As propriedades elétricas mais importantes da madeira são: condutividade elétrica, constante dielétrica e fator de potência dielétrica. Exemplos de processos industriais e aplicações nos quais as propriedades elétricas da madeira são importantes incluem a secagem da madeira, a cura térmica de adesivos em produtos de madeira por campos elétricos de alta frequência, postes e cruzetas para a transmissão de energia elétrica, entre outros. Além dessas aplicações, medidores de umidade funcionam utilizando a relação entre as propriedades elétricas e a quantidade de umidade existente na madeira para estimar o teor de umidade relativa da madeira (MORESCHI, 2014).

Além das já citadas, as que impressionam os órgãos sensitivos (propriedades organoléticas) são: cor, grã, textura e desenho que se apresentam no material, odor e sabor. Estas propriedades são diretamente ligadas ao seu valor decorativo e ornamental e aos usos em que o cheiro e o gosto de produtos armazenados ou embalados com a madeira possam ser alterados (MORESCHI, 2014).

3.2 Aplicações de painéis de madeira recomposta

Os painéis MDP têm como matéria-prima a madeira florestal, a qual pode ser proveniente de: serrarias; processos de desbaste e poda; resíduos industriais grosseiros, como sobras do corte de galhos e troncos; miolos de toras laminadas;

resíduos industriais finos, como serragem e cepilhos; e cavacos de madeira do beneficiamento de indústria de móveis e serrarias.

Dentre as vantagens dos painéis recompostos de madeira, podem ser citadas:

- possibilidade de utilização de praticamente toda a árvore no processo de fabricação dos painéis, reduzindo de modo significativo a geração de resíduos;
- fabricação de produtos usados para revestimento, pisos, forro, painéis decorativos, com menor variação das propriedades em relação à madeira maciça;
- possibilidade de os painéis serem produzidos a partir da reutilização de madeira proveniente da indústria de processamento primário do material;
- aproveitamento da madeira em aproximadamente 100%;
- possibilidade de acrescentar aos derivados produtos como resíduos de madeira e agroindustriais;
- possibilidade de se produzir painéis em grandes dimensões, sendo fator limitador as dimensões das prensas e não as das árvores;
- menor variação dimensional em relação à madeira serrada;
- minimização do fator anisotrópico que a madeira maciça possui em função da disposição aleatória das partículas;
- possibilidade de moldagem de peças para usos diversos;
- facilidade de inserção de produtos repelentes e protetores, bem como retardantes de fogo.

Exemplos de aplicações de painéis recompostos de madeira na construção civil, em substituição à madeira maciça, podem ser observados nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Painéis recompostos de madeira - divisórias



Fonte: JDR Sistemas Construtivos.

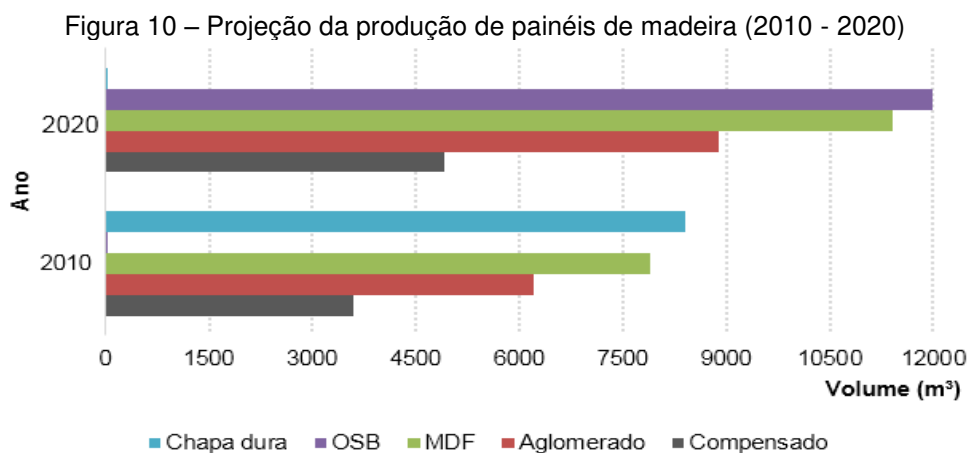
Figura 9 – Painéis recompostos de madeira – revestimento



Fonte: JDR Sistemas Construtivos.

Nascimento, Christoforo e Rocco Larh (2015) salientam que, dentre os produtos à base de madeira, a produção dos painéis recompostos vêm apresentando uma das maiores taxas de crescimento, tanto mundial quanto nacional, em função da

quantidade de produtos disponíveis e facilidades na aplicação para os mais variados fins. A Figura 10 apresenta números do setor de painéis de madeira numa projeção da produção nos anos de 2010 a 2020.



Fonte: FAO (2004) adaptado por STCP (2007) *apud* Nascimento, Christoforo e Rocco Larh (2015).

3.2.1 Painéis MDF (*medium density fiberboard*)

Os painéis MDF são produzidos em processo contínuo com fibras de madeira aglutinadas com resina termofixa, que se unem sob ação de pressão e calor. O resultado é um painel composto, com estrutura isotrópica altamente homogênea, de alta qualidade e densidade na faixa de 500 a 800 kg/m³ (ZENID, 2009).

Painéis MDF possuem bordas densas e de textura fina, superfície plana e lisa, ideais para diversos tipos de acabamento (pintura, verniz, laminação, impressão, revestimento etc.), sendo considerados melhores para a usinagem (torneamento, entalhamento, perfuração etc.) e mais adequados para definir as características de acabamento, por sua uniformidade, planicidade e possibilidade de formas arredondadas de componentes especializados, como no caso de cozinhas de alta qualidade e portas de quartos com perfis complicados (IPT, 2009).

Na indústria moveleira, o painel MDF é amplamente empregado em frontais de portas, frentes de gaveta e outras peças mais elaboradas, com usinagens em bordas ou faces, como tampos de mesa, *racks* e estantes.

Na construção civil, o MDF é utilizado em pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas -como balaústres de escadas e pés de mesas-, e em embalagens (ABIPA, 2008 *apud* TORQUATO *et al.*, 2010).

A ABNT NBR 15316-2:2015 classifica os painéis de fibras de média densidade por aplicação e condição de uso nos seguintes onze tipos:

- 01) HDF – painéis de alta densidade para uso geral em condições secas;
- 02) HDF.H – painéis de alta densidade para uso geral em condições úmidas;

- 03) MDF – painéis não estruturais para uso em condições secas;
- 04) MDF.H – painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- 05) MDF.LA – painéis estruturais (cargas permanentes) para uso em condições secas;
- 06) MDF.HLS – painéis estruturais (cargas instantâneas ou de curta duração) para uso em condições úmidas;
- 07) L-MDF – painéis *light* não estruturais para uso em condições secas;
- 08) L-MDF.H – painéis *light* não estruturais para uso em condições úmidas;
- 09) UL1-MDF – painéis *ultralight* não estruturais (utilizados como isolantes, com resistências mecânicas limitadas) para uso em condições secas;
- 10) UL2-MDF – painéis *ultralight* não estruturais (uso geral, com resistências mecânicas superiores) para uso em condições secas;
- 11) MDF.RWH – painéis utilizados em divisórias, forros e paredes.

Embora originalmente desenvolvido para uso em mobiliário, o MDF padrão está cada vez mais sendo empregado: em interiores de lojas; em vitrines; como paredes; em molduras arquitetônicas; e, noutras aplicações em que suas características de usinagem e acabamento são usadas como vantagem (TORQUATO, 2008).

O MDF também pode ser fabricado com características especiais para situações de maior exigência do material. Isso requer a escolha correta do tipo e teor de resina e a adição de aditivos, visando-se a resistir às condições de exposição em ambientes úmidos e ao fogo (BAUER, 1995 *apud* FERREIRA, 2010). Acrescenta-se às características especiais a condição de alta densidade, que ocorre quando o painel MDF é utilizado em ambientes externos. Resistência à umidade é uma exigência em acabamentos de banheiros, portas, janelas e outros aplicativos em interior de construções, quando é requisito importante resistir às condições de umidade ou à intermitência de molhamento (TORQUATO, 2008).

3.2.1.1 Propriedades

As propriedades dos painéis MDF, aproximam-se às da madeira sólida e em alguns aspectos superiores, permitem seu uso em diferentes setores, principalmente na indústria moveleira e na construção civil (ELEOTÉRIO, 2000).

A densidade é um dos fatores que mais influenciam nas propriedades finais dos painéis MDF, sendo que a interação com outros fatores se torna útil para sua melhoria economicamente no custo e na quantidade de resina. Com o aumento da densidade, reduzem-se os espaços vazios e aumenta-se a área de contato entre as fibras; assim,

espera-se que haja uma boa eficiência da resina aumentando a qualidade do painel para ambientes úmidos (ELEOTÉRIO, 2000).

O fator que realmente influencia as propriedades mecânicas em compostos de madeira é a taxa de compactação da matéria-prima, ou seja, a relação entre densidade do painel e densidade da madeira. Quanto maior a compactação maior o contato entre partículas e entre partículas e adesivo. Dessa forma, pode-se ter painéis com a mesma densidade final, mas com taxas de compactação diferentes em função da densidade da madeira utilizada (KELLY, 1977).

Eleotério (2000) comprovou por meio da análise e do efeito da densidade e do teor de resina em percentagem que o acréscimo da densidade pode ocasionar uma redução percentual de resina sem prejuízo do valor nas propriedades. O ganho de densidade dos painéis MDF é obtido aumentando, no mesmo volume, a concentração de massa das fibras e o teor de resina. O teor de resina deve ser proporcional à massa anidra das fibras. Portanto, há uma relação direta entre o aumento de densidade e o aumento da massa de resina, mesmo mantendo-se o teor em percentagem constante.

A utilização de madeira de baixa densidade permite a fabricação de painéis com melhores propriedades mecânicas do que quando se utiliza madeira de alta densidade. Isso decorre da possibilidade de compactar painéis de média densidade com um suficiente contato entre fibras, o que possibilita uma melhor colagem. Espécies de baixa densidade também permitem a compactação (ELEOTÉRIO, 2000; MALONEY, 1993).

Os painéis MDF produzidos com fibras de espécies do gênero *eucalyptus* exigem maior quantidade de resina para alcançar as mesmas propriedades mecânicas que proporcionam os painéis produzidos com fibras de espécies do gênero *pinus*. Entretanto, quando avaliadas as propriedades físicas (inchamento em espessura e absorção de água), os painéis produzidos com fibras de *eucalyptus* apresentaram melhor desempenho do que os constituídos por fibras de *pinus elliottii*, ambos com o mesmo teor de resina (PRANDA, 1995 *apud* FERREIRA, 2010).

Devido a sua estrutura homogênea e isotrópica, os painéis MDF apresentam vantagens significativas quanto a usinabilidade, tanto nas faces quanto nas bordas. Sua superfície lisa oferece melhores condições de acabamento superficial. Em relação as propriedades de resistência, apresenta maior ligação interna e resistência ao arranque de parafusos (IWAKIRI, 2005 *apud* FERREIRA, 2010).

Na Tabela 4, está apresentada a classificação de painéis MDF por densidade, considerando sua faixa de espessura segundo a norma ABNT NBR 15316-2:2015.

Tabela 4 – Classificação de painéis de fibras de média densidade, por densidade

Densidade [kg/m ³]	Faixas de espessura [mm]					
	≤ 6,0	> 6,0 a 9,0	> 9,0 a 12,0	> 12,0 a 19,0	> 19,0 a 30,0	> 30,0
> 800	HDF	HDF	-	-	-	-
651 a 800	MDF	MDF	MDF	MDF	MDF	MDF
631 a 650	-	Light	Light	Light	Light	Light
551 a 630	-	-	Ultralight	Ultralight	Ultralight	Ultralight
450 a 550	-	-	Ultralight	Ultralight	Ultralight	Ultralight

Fonte: ABNT NBR 15316-2:2015.

Quanto ao controle de qualidade, é de extrema importância, tanto do processo produtivo como da qualidade final dos painéis produzidos, pois as empresas devem obedecer a requisitos normativos que direcionam o tipo e emprego final desse produto e, ao final da produção, que sejam alcançados painéis com uma mínima variação das propriedades tecnológicas (FERREIRA, 2010).

3.2.2 Painéis MDP (*medium density particleboard*)

O painel MDP é produzido a partir de pequenas partículas de madeira introduzidas junto a resina ureia-formaldeído (em sua maioria) e consolidado por meio da aplicação de calor e pressão. É um produto amplamente empregado na fabricação de móveis, em razão de suas características tecnológicas, do custo competitivo e da escala de produção (IWAKIRI *et al.*, 2005b *apud* SORATTO *et al.*, 2013). As partículas mais finas são depositadas na superfície, enquanto as de maiores dimensões são depositadas nas camadas internas (SORATTO *et al.*, 2013).

O MDP, comparando-o com aglomerados e MDF, apresenta maior resistência à flexão, ao empenamento e ao arrancamento de parafusos, maior estabilidade dimensional e menor absorção de umidade. Trata-se de nova geração de painéis de madeira industrializada com características diferenciadas do aglomerado (IPT, 2009).

Nascimento, Christoforo e Rocco Larh (2015) afirmam que o Brasil vem experimentando nas últimas décadas expressivas modificações no panorama do emprego da madeira para as mais diferentes aplicações, da construção civil à indústria do mobiliário. Em 2014, a produção dos painéis de partículas aproximou-se dos quatro milhões de metros cúbicos, volume altamente expressivo e que envolve recursos consideráveis na composição do Produto Interno Bruto - PIB nacional, em especial se for considerado o emprego de espécies oriundas de florestas plantadas.

O Quadro 7 apresenta os principais usos dos painéis MDP segundo o Manual de Recomendações Práticas (Masisa, 2012) e destaca algumas restrições para diversos tipos de ambientes.

Quadro 7 – Restrições ao uso de painéis MDP

Ambientes	Restrições ao uso do MDP
Resistência a água	MDP é um produto especialmente desenvolvido para uso interior. Não deve ser exposto à ação da água, nem em ambientes com umidade excessiva. Esse cuidado evitará alterações nas características dimensionais e físicas de painéis.
Resistência ao ataque de cupins	A fabricação do MDP faz com que seja isento da presença de insetos, pois durante o processo produtivo as fibras são submetidas a elevada temperatura e pressão. Mas, por ser produto derivado da madeira, cupins poderão atacá-lo quando aplicado ou estocado em ambientes infestados por esses insetos.
Mezaninos	O MDP não é um painel estrutural, portanto não possui propriedades físico-mecânicas adequadas para este tipo de aplicação.
Escadas ou pisos	O revestimento melamínico (BP) do MDP, diferente do revestimento melamínico do HDF utilizado em pisos, não possui uma camada extra de proteção chamada de <i>overlay</i> , que proporciona aos pisos, alta resistência a riscos e à abrasão (alto tráfego). Por isso, o BP não é recomendado para esse tipo aplicação e sim para ser usados exclusivamente na confecção de móveis e revestimento de paredes.
Resistência ao mofo	A fabricação do MDP faz com que seja isento da presença de mofo ou bolor, já que durante o processo produtivo as fibras são submetidas a elevadas temperatura e pressão. Mas, por ser um produto derivado da madeira, mofo ou bolor poderá atacá-lo quando aplicado ou estocado em ambientes úmidos e com pouca ventilação ou incidência de luz.
Excesso de calor	Deve-se evitar colocar o MDP em contato com fontes geradoras de calor, por tempo prolongado, como fogões, fornos e aquecedores ou outras fontes em que a temperatura exceda 50°C.
Incidência de luz solar	A incidência direta ou prolongada da luz solar pode modificar a tonalidade do revestimento, tornando-o amarelado. Além disso, os painéis podem sofrer deformação por efeito da perda de umidade.

Fonte: Manual de Recomendações Práticas (Masisa, 2012).

3.2.2.1 Propriedades

Todas as propriedades físico-mecânicas dos painéis são afetadas pela taxa de compactação. Taxas muito baixas de compactação não produzem bom contato entre as partículas, o que prejudica a colagem e a resistência dos painéis. Taxas muito altas de compactação causam problemas à liberação de água no momento da prensagem, além de produzirem painéis de alta densidade, o que pode deixá-lo muito pesado. A densidade do painel tem grande influência sobre a maioria das propriedades mecânicas: seu aumento geralmente causa o aumento da resistência à flexão e da resistência à tração (HILLIG; HASELEIN; SANTINI, 2002).

Por outro lado, as propriedades mecânicas estão divididas em propriedades de resistência e rigidez. Dentre as principais propriedades de resistência, estão a compressão paralela às fibras e o módulo de resistência à flexão na direção paralela às fibras. Dentre as propriedades de rigidez, destacam-se os módulos de elasticidade longitudinal e transversal (ALMEIDA, 2013).

As propriedades mecânicas expressam o comportamento do material quando sujeitos a esforços externos e internos, razão pela qual é importante conhecê-las para determinar usos possíveis, principalmente na construção civil (BOTREL *et al.*, 2007).

Em estudo realizado por Protásio *et al.* (2012), observou-se alta correlação entre a densidade aparente do painel e o módulo de elasticidade, assim como entre a razão de compactação e o módulo de elasticidade. Quanto maior a densidade aparente maior será o módulo de elasticidade, além de existir uma tendência à diminuição das propriedades de flexão com o aumento da densidade aparente. Quanto à ligação interna, os resultados mostraram que, quanto maior o valor do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura, maiores serão os valores de ligação interna e resistência à compressão dos painéis compostos de eucalipto.

Para certas aplicações específicas e que requeiram a expedição de painéis com dimensões sob medida ou com posterior usinagem (por exemplo, macho e fêmea), podem ser acordadas tolerâncias especiais e diferentes das especificadas na Tabela 5 para espessura, comprimento e largura, esquadro e retilinearidade dos painéis, onde são apresentados os requisitos gerais.

Tabela 5 – Requisitos gerais

Propriedades	Requisitos	
Espessura	± 0,3mm	
Largura e comprimento	± 5,0mm	
Esquadro	≤ 2,0mm/m	
Retilinearidade	≤ 1,5mm/m	
Teor de umidade	5,0% a 13,0%	
Tolerância em relação a densidade média	± 7%	
Teor de emissão de formaldeído	Classe E1	Classe E2
Painéis sem revestimento ou revestidos em uma face	≤ 8,0mg/100 g	> 8,0mg/100g e ≤ 30,0mg/100g
Painéis revestidos nas duas faces	≤ 3,5mg/m ² h	> 3,5mg/(m ² .h) e ≤ 8,0mg/(m ² .h)

Fonte: ABNT NBR 14810:2013.

3.2.3 Painéis OSB (*oriented strand board*)

Painel OSB é o painel composto por três a cinco camadas de partículas ou feixes de fibras finas e longas (*strands*) orientadas em ângulo de 90º umas com as outras, aderidas em usos estruturais com resinas fenólicas resistentes à umidade (fenol-formaldeído e melamina-formaldeído) e em aplicações semiestruturais com resinas compostas (melamina-ureia-formaldeído e fenolmelamina-ureia-formaldeído) e consolidadas pela prensagem a quente (SETUBAL, 2009). Esse arranjo confere ao painel resistência mecânica, para fins estruturais, e à umidade e supre uma demanda não atendida por painéis compensados comuns (SURDI, 2012; ZENID, 2009).

O produto, fabricado com madeira proveniente de toras de menor qualidade e com lâminas ou partículas em diferentes estágios de desagregação, tem custo mais baixo que outros tipos de painéis compensados estruturais. Seu desempenho decorre da tecnologia de produção determinada pela largura dos painéis e não em função do comprimento das toras, como é o caso de compensados (ZENID, 2009). Pode ser aplicado como substituto da madeira maciça em diferentes usos (FERRO, 2013).

Desenvolvido nos Estados Unidos, o painel OSB está no mercado mundial desde a década de 1970. Introduzido no mercado americano, foi rapidamente aceito, substituindo os demais painéis no segmento de construção civil, pelo fato de o OSB possuir propriedades semelhantes às da madeira tradicional (SOUZA, 2012).

Setubal (2009) assim expõe o uso do OSB frente à madeira maciça:

[...] O OSB é um material que permite a sua utilização em um sistema de construção utilizado no mundo todo, tanto para residências de alto padrão quanto para casas populares. A engenharia de OSB foi concebida para oferecer resistência mecânica superior, grande durabilidade e excelente trabalhabilidade. Dentre algumas vantagens que o OSB oferece, pode citar: sem espaços vazios em seu interior, sem problemas de nó solto como na madeira, sem problemas de laminação, resistente ao impacto, excelente propriedade isolante, espessura calibrada, atrativo para arquitetos e decoradores e preço competitivo.

Santos e Aguilar (2007, p. 250) citam que “Na América do Norte, 51% das aplicações do OSB correspondem à construção de habitações, sendo seu uso aprovado por normas estabelecidas em países como Japão, Estados Unidos e Europa. Outro motivo que impulsiona o uso dos painéis OSB na América do Norte é a questão ambiental”.

Na construção civil, painéis OSB podem ser utilizados praticamente em quase todos os usos tradicionais de painéis de partículas e compensados como:

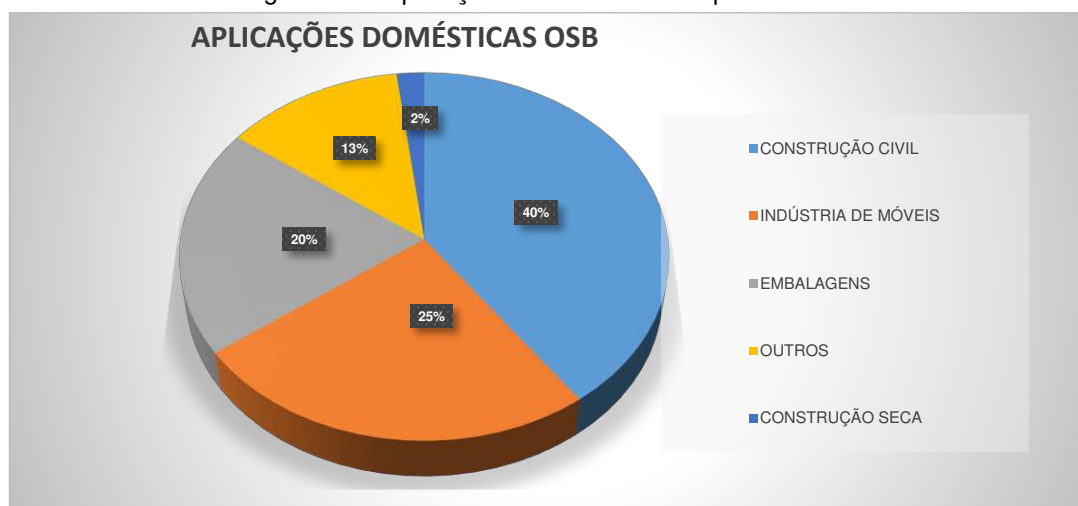
- a) forros para telhados, base para paredes e pisos em construções residenciais, empacotamento e engradamento, *pallets* para estocagem a seco, estandes, armações para móveis, painéis de paredes decorativas, miolo para composto destinado a piso de madeira nobre, piso acabado, tapumes e divisórias, fôrmas descartáveis para concreto e plataformas, chalés rústicos, portas e janelas, painéis de apoio estrutural, painéis estruturais isolantes (miolo de espuma) e alma para vigas em “I” (JANSSENS, 1998; MENDES, 2001; SALDANHA, 2004; SBA, 2014b *apud* GORSKI, 2014);
- b) produção de paredes, divisórias estruturais, pisos, vigas e forros (SANTOS; AGUILAR, 2007) e, no período da obra, em tapumes, instalações provisórias, bandejas de proteção, passarelas ou fôrmas de concreto; por meio de

composições distintas, também é possível fazer uso do OSB como estrutura de mezaninos, telhados ou mesmo como revestimento de paredes internas e externas (MACEDO, 2014; SETUBAL, 2009);

- c) estruturas de madeira de edifícios, construção de estandes, decoração de lojas, construção de sobrelojas/pavimentos sobre-elevados, muros, tabiques, barreiras e vedações, divisórias, vigas e traves, coberturas e pisos, formas de concreto e revestimento antiderrapante (LP Brasil, 2011 *apud* SOUZA, 2012).

Apesar de a indústria da construção civil no Brasil estar familiarizada com esse material, estudos de mercado revelam que ainda permanecem desconhecidas as potencialidades do OSB, não sendo por isso devidamente aproveitado como um dos produtos de construção mais versáteis e econômicos atualmente. A Figura 11 mostra algumas aplicações dos painéis OSB.

Figura 11 – Aplicações domésticas dos painéis OSB



Fonte: ABIPA (2011 *apud* Souza, 2012).

Segundo EN 300 (2006 *apud* SOUZA, 2012), os painéis OSB são classificados de acordo com seu modo de aplicação:

- OSB 1: painéis para uso estrutural e interior em condições secas;
- OSB 2: painéis estruturais para uso em condições secas;
- OSB 3: painéis estruturais para uso em condições de ambiente úmido;
- OSB 4: painéis estruturais de alta especificação para ambiente úmido.

Gorski (2014) considera que a estrutura em camadas cruzadas formadas por partículas orientadas faz com que as propriedades mecânicas dos painéis OSB sejam bastante elevadas, resultando nas mais variadas aplicações.

O projeto de uma edificação que utiliza painéis OSB em suas partes constituintes deve seguir algumas premissas para que a vantagem da modulação seja aproveitada ao máximo. Devem ser levadas em consideração: as dimensões da edificação, para

melhor aproveitamento dos painéis; a visualização do sistema de transição de cargas; as limitações estruturais e noções básicas da metodologia de montagem do sistema (MALAFAIA, 2002).

Partel (2006) cita como características positivas dos painéis OSB em relação a outros tipos de painéis de madeira recomposta:

- a) o alinhamento das lascas no sentido paralelo às esteiras (camadas externas) e perpendicular às esteiras (camadas internas), melhora as propriedades mecânicas e dimensionais dos painéis;
- b) painéis OSB são concebidos para fins estruturais, o que não ocorre com os painéis de aglomerado tradicional e os painéis MDF;
- c) a resistência mecânica do OSB não é tão alta quanto a da madeira maciça, mas é tão alta quanto à dos compensados estruturais; painéis OSB substituem plenamente os compensados, com muita eficiência e custo mais baixo, por utilizar matéria-prima menos nobre para sua produção.

Leal (2002) explica que:

[...] No caso do emprego na construção civil, os maiores cuidados relativos ao OSB devem aparecer na fase de execução. O maior risco é de o material não estar completamente isolado da umidade, o que poderia provocar a proliferação de fungos. Deve-se envelopar a casa, ou seja, instalar papelão alcatroado em todas as paredes externas. Um cuidado no uso é não lavar com água pisos desprotegidos, como salas e quartos. Manual de Recomendações Práticas (Masisa, 2012) explica que em relação a cupins, o risco é bem menor. Testes realizados na América do Norte, na Europa e no IPT indicaram mortalidade de 100% dos cupins. Os cupinidas são adicionados à resina de colagem. Como o OSB não possui camadas de cola como o compensado, pois a substância é misturada e prensada com as tiras, os insetos xilófagos ficam mais expostos ao veneno.

As particularidades implementadas no processo de fabricação fornecem excelentes características aos painéis OSB como, por exemplo, o fato de este painel ser extremamente resistente e de boa estabilidade dimensional e também significativamente resistente à umidade, conferindo-lhe assim grande durabilidade e resistência aos ataques biológicos (CARVALHO, 2016).

3.2.3.1 Propriedades

Santos e Szücs (2009) mencionam que os painéis de madeira de *pinus sp.* reconstituídos mecanicamente, em especial o OSB, demonstraram viabilidade para emprego estrutural por apresentarem características físicas e mecânicas mais homogêneas em comparação com a madeira maciça. Conseqüentemente, é um produto com confiabilidade para aplicação estrutural, apresentando também proteção a ataques de fungos e insetos.

Segundo Moslemi (1974) e Maloney (1993) *apud* CABRAL *et al.* (2006), madeiras com densidade de até 0,55g/cm³ são as mais recomendadas para a produção de painéis de partículas. Iwakiri *et al.* (2004) concluíram que entre as espécies que estudaram, as madeiras *eucalyptus grandis* e *eucalyptus saligna*, com menores densidades, mostraram-se promissoras para a fabricação de painéis OSB. Gouveia *et al.* (2000 *apud* CABRAL *et al.*, 2006), comparando propriedades de painéis de madeira aglomerada orientadas e não orientadas fabricadas com partículas de madeira *eucalyptus grandis* e *eucalyptus urophylla*, concluíram que as fabricadas com madeira *eucalyptus grandis* de menor densidade apresentaram melhor desempenho mecânico. Vital, Lehmann e Boone (1974) afirmam que é possível misturar espécies de elevada e baixa densidades para se obter uma densidade média da matéria-prima adequada à fabricação dos painéis de partículas.

3.2.4 Madeira plástica - MP (*wood plastic composite*)

A madeira plástica (MP), também conhecida por madeira ecológica, tem se estabelecido no mercado da construção civil como um material sustentável, versátil e flexível. Eficiente por suas diversas aplicações e sobretudo por evitar danos ao meio ambiente, aos poucos o produto se mostra uma alternativa mercadológica à madeira convencional (LOPES, 2016). É um composto produzido com plástico oriundo de pós-consumo, combinado com outros materiais como serragem de madeira, fibras vegetais e aditivos (MOLINA; CARREIRA; CALIL JÚNIOR, 2009).

Além de reduzir impactos com a extração da madeira natural, possui caráter sustentável por dar uma destinação aos resíduos plásticos e da madeira, principalmente da construção civil e da indústria madeireira (SABINO; NETTO, 2014).

Paes, Ribeiro e Miracco (2015) afirmam que como produto reciclável e ecologicamente correto, a MP gera impacto em favor da sustentabilidade, ao usar na sua composição o plástico que seria descartado no meio ambiente juntamente com a serragem de madeira, diminuindo assim a poluição causada por esses materiais.

Na edificação, a substituição de partes em madeira maciça por peças em MP pode ocorrer em diversas condições de uso, como componentes de vedação vertical e horizontal, estrutura portante como montante etc. A MP vem sendo apontada como uma grande tendência em construções chamadas de ecológicas, cujos proprietários desejam ter o mesmo efeito da madeira, mas preferem utilizar materiais reciclados (MÜZEL, 2017) para substituir a madeira maciça por apresentar vantagens como: durabilidade; imunidade ao ataque de fungos e insetos; resistência a umidade e

rachaduras; não apresentar trincas sob a ação de sol ou chuva; e contribuir com o meio ambiente, evitando o desmatamento e transformando o plástico e resíduos da madeira num produto útil à sociedade (PAULA; COSTA, 2008).

No âmbito da construção civil, a MP pode ser perfeitamente utilizada como *decks*, *pallets*, batentes, portões, cercas, dormentes, cruzetas, pisos, *brises*, escadas, esquadrias, píeres, mourões, fachadas, bancos, lixeiras, pergolados, placas, *playgrounds*.

Os prós da MP se fazem presentes também no fácil manuseio em obras de construção sustentável e nos atributos e aplicabilidade do material: não exige envernizamento; não oxida quando sujeita à ação de parafusos; resiste a fendas, e à umidade; não libera farpas; proporciona conforto térmico; tem a mesma aparência da madeira comum. Dentre os itens hoje disponíveis no Brasil, além dos já mencionados, é possível encontrar também revestimentos, *kit* passarela, fachadas, rodapés, móveis, telhas e cercados (LOPES, 2016).

É recomendada para estruturas que necessitem de praticidade, resistência e pouca manutenção (MOLINA; CARREIRA; CALIL JÚNIOR, 2009). O Quadro 8 mostra algumas diferenças no uso da madeira convencional e da MP.

Quadro 8 – Diferenças relativas ao uso de madeira convencional e de MP

Descrição		Madeira Plástica	Madeira Convencional
Obtenção	Vantagem	Não necessita de certificação ambiental	Material de fácil obtenção, renovável por reflorestamento
	Desvantagem	Depende da coleta de resíduos	Deve passar por processos que evitem seu apodrecimento
Estabilidade dimensional	Vantagem	Resiste a corrosão, pode ser exposta ao sol, chuva, maresia e poeira e ter contato com o solo. Contração e expansão insignificantes sob temperaturas extremas. Boa fixação de pregos e parafusos	
	Desvantagem		Dimensões afetadas com umidade e temperatura, com possibilidade de rachar e empenar. Pode perder a resistência e soltar dos alicerces
Estética	Vantagem	Bom acabamento superficial. Não exige tratamentos especiais	Simplicidade e esteticamente agradável
Produção	Vantagem	Fabricado com material reciclado	Facilidade no preparo industrial e desdobro (corte em dimensões exigidas previamente), usando pouca energia
	Desvantagem	Material manufaturado	
Fungos e pragas	Vantagem	Imune a pragas como insetos, cupins roedores. Não mofa, não cria fungos	
	Desvantagem		Biodegradável pela ação de insetos e fungos
Custo	Vantagem	Baixa manutenção	Baixo custo de aquisição
	Desvantagem	Custo dependente da resina usada como matriz. Alto preço de mercado e alto custo da coleta seletiva	Exige selo de certificado, o que torna seus custos equivalentes aos custos da madeira plástica

Quadro 8 – Diferenças relativas ao uso de madeira convencional e de MP

Descrição		Madeira Plástica	Madeira Convencional
Ecoeficiência	Vantagem	Alta durabilidade, uso de resíduos como matéria-prima, processo de moldagem não poluente, diminuição de resíduos no ambiente. Ideal para áreas externas	
	Desvantagem		Favorece o desmatamento, não favorece a coleta de resíduos sólidos. Seu uso em ambientes externos pode ser prejudicial

Fonte: Portal In Brasil (*apud* Silva *et al.*, 2016) e Lopes (2016).

Considerado um produto com boas perspectivas econômicas no mercado e com uma consciência de sustentabilidade e inovação tecnológica, pode substituir o plástico convencional primário, a madeira serrada, o concreto e o aço (CASTRO, 2017). A MP pode ser serrada, aplainada, pregada, grampeada, colada e soldada, tingida, colorida com massa, pintada. Pode ser acabada diretamente no formato desejado, o que pode representar economia substancial de material e mão de obra. Guimarães (2013) também apresenta aplicações da MP na fabricação de perfis variados e em dormentes para via férrea.

Quanto à produção de MP no Brasil, levantamento realizado por Soares *et al.* (2012 *apud* GUIMARÃES, 2013) mapeou 27 empresas produtoras (Figura 12).

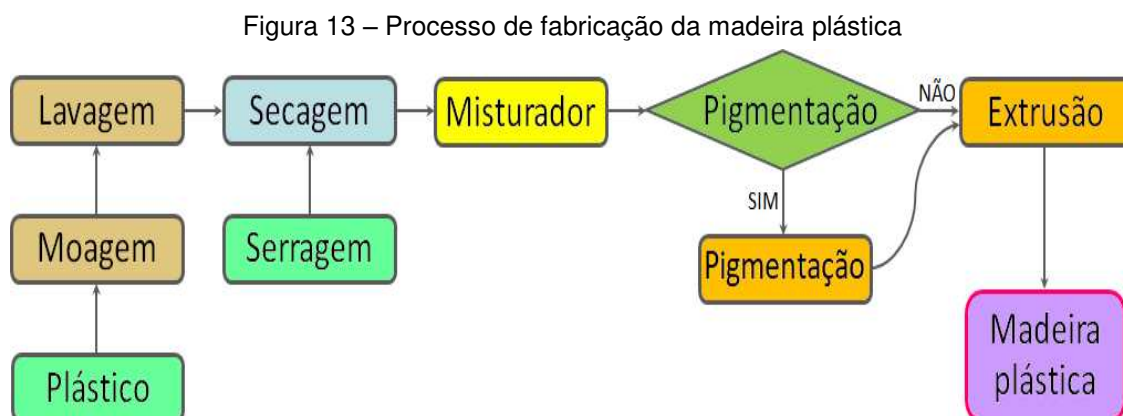
Figura 12 – Produtores de madeira plástica no Brasil

Estado	Empresa	Estado	Empresa
Acre	• Plasacre	Santa Catarina	• Ekoplus
Bahia	• Totall Green		• Eplast
	• Plasticwood		• Ecoimp
Minas Gerais	• Ecoblock	São Paulo	• Madeira Plástica ALLPEX
	• Satre		• Wisewood
Pará	• EcoNorteSacotex		• Reciplast
Paraná	• In Brasil		• WBP
	• Madeplast		• Totall Green
	• Megaperfil		• Ecocasa
Rio de Janeiro	• EcoPlace Madeira Plástica		• Atec Soluções Sustentáveis
	• Cogumelo		• PentagonalecoWood
	• Totall Green		• RomanPlast-SP
	• PolyRio		• Fibromix
	• PrimaMatéria		

Fonte: Soares *et al.* (2012 *apud* Guimarães, 2013).

Quanto à produção, o composto de MP compara-se aos painéis recompostos de madeira, pois também passa por processos industriais nos quais são utilizadas na sua composição a serragem - resíduo da madeira advindo de setores industriais ou da própria construção civil), e também resíduos de polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), politereftalato de etila (PET), policloreto

de vinila (PVC) e polipropileno (PP). A Figura 13 ilustra um dos processos de fabricação da madeira plástica.



Fonte: Oliveira, Oliveira e Costa (2013).

Enquanto um *deck* de madeira maciça requer vedação, pintura e lixamento, e a substituição periódica de tábuas danificadas, um *deck* de MP não requer essa preparação, não precisa de tal substituição e, quando molhado, é menos escorregadio que a madeira tradicional (OHARA, 2011). Por exemplo, pisos de MP têm como características vantajosas: ser antiderrapante sob condições secas ou úmidas; ter baixa absorção de umidade; e não apresentar problemas comuns à madeira maciça como rachaduras, empenamentos e apodrecimentos (YAMAJI, 2004).

Oliveira, Oliveira e Costa (2013) e Sabino e Netto (2014) destacam que a MP pode ser uma alternativa arquitetônica em partes que aliam resistência com leveza, ambientação rústica e durabilidade como em forros, mobiliários, marcos de portas, portões, bancadas, lavabos e pequenos painéis.

Pode ser usada para pilares e vigas de sustentação -não majoritariamente como elementos estruturais- (SILVA *et al.*, 2016), paredes internas (LIMA *et al.*, 2018), fôrmas, escoramentos de escavações e taludes, pranchas para produção de blocos de concreto e em aplicações externas como mourões, cercas, currais, bancos de praça, postes, tábuas, plataformas marítimas, galpões industriais, andaimes, sendo mais resistente do que a madeira natural na maioria dos casos (ALLPEX, 2019).

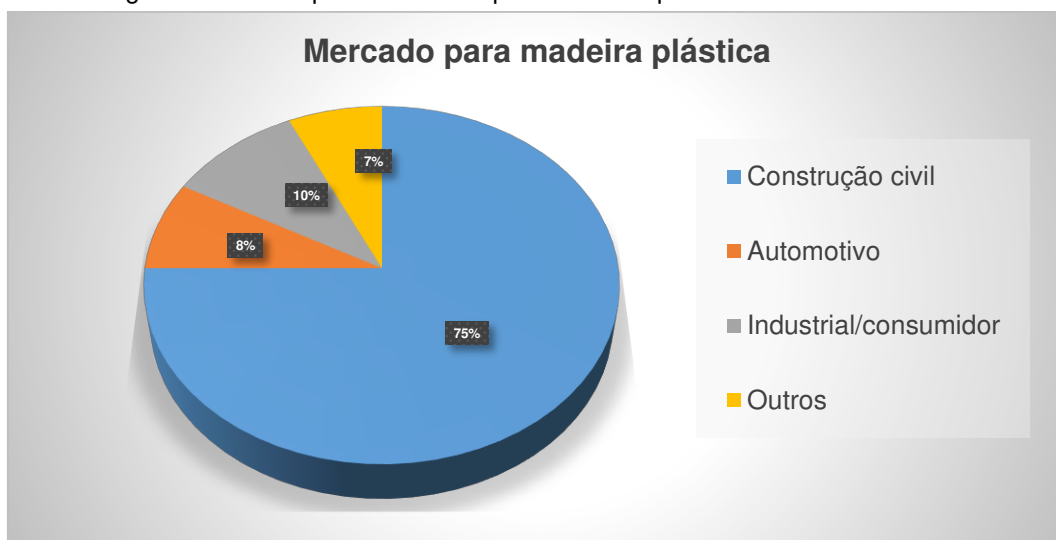
Silva *et al.* (2016) ressaltam que a MP se sobressai à madeira convencional quando instalada onde há ação da radiação solar e chuva e em ambientes com grande iminência de águas, como as próximas a piscinas, regiões litorâneas etc., condições que pouco afetam suas propriedades físicas e mecânicas, além de seu acabamento tornar esses ambientes sustentáveis e com visual mais agradável e moderno.

Um fator que tem ampliado a comercialização e influenciado o crescimento do uso da MP na Europa e na América do Norte é o alto custo requerido para se conseguir

certificações ambientais para a madeira tradicional, o que a faz perder espaço no mercado da construção civil (SILVA *et al.*, 2016). O valor ambiental evidencia que a MP permite fabricação de peças recicladas e recicláveis que incentivam a reutilização e valorização de resíduos, sendo sua base principal os resíduos plásticos pós-consumo.

Os Estados Unidos possuem o maior segmento de mercado para os produtos de MP: o material existe há cerca de 20 anos e conquistou esse mercado por resistir a mofo e não se desgastar com a ação do sol, da maresia e da umidade (TRIGUEIRO; BOCARDI, 2012). Os produtos estão nas formas de perfis para pisos e assoalhos, batentes de janelas e portas, revestimentos, dentre suas muitas aplicações. Cerca de 35% das varandas e pátios dos Estados Unidos são construídos com MP. A Figura 14 mostra os principais mercados para os compósitos por aplicação final do produto (ENGLISH, FALK; 2000).

Figura 14 – Principais mercados para madeira plástica nos EUA em 2000



Fonte: Eckert (2000, *apud* Yamaji, 2004).

Uma vantagem na produção de MP com plásticos e fibras 100% reciclados é que as fibras naturais estão disponíveis em grandes quantidades por todo o mundo e são um recurso renovável. Manzini (2008 *apud* NAZÁRIO *et al.*, 2016) afirma que estudos têm demonstrado que as fibras apresentam excelentes propriedades mecânicas e ainda desempenham funções como isolamento térmico e acústico.

A MP destaca-se ainda por ser um material: impermeável, de boa durabilidade, por aceitar processos tradicionais da marcenaria, e ser similar à madeira comum. Seu processo produtivo possibilita percorrer um caminho inverso, de retorno ao campo, preservando o meio ambiente e evitando desmatamento (NAZÁRIO *et al.*, 2016). É

um material com durabilidade média de 50 a 100 anos, segundo dados dos principais fabricantes (SABINO; NETO, 2014).

3.2.4.1 Propriedades

Quando se trata de suas propriedades, Ohara (2011) cita como vantagens da madeira plástica em relação à madeira maciça:

1. resistir à corrosão, podendo ser exposta ao sol, chuva e poeira;
2. manter contato com o solo;
3. ser imune a pragas, como cupins, insetos e roedores;
4. não mofar, criar fungos, nem absorver umidade;
5. não formar farpas, rachar nem empenar por secamento ou envelhecimento;
6. não necessitar de pintura, podendo ser pigmentada com pigmentos e materiais corantes em diversas cores e texturas adequadas a diversas aplicações;
7. poder ser visualmente idêntica à madeira convencional;
8. substituir madeiras raras em determinadas aplicações.

Quanto à praticidade de uso e aplicações, tem-se:

1. não depender de manutenção e pintura;
2. ser aplicada com ferramentas da madeira;
3. reter pregos e parafusos sem apresentar rachaduras;
4. poder ser limpa com água e sabão.

A caracterização físico-mecânica da MP é importante para determinar a resistência e aplicabilidade dos compósitos:

- ✓ os ensaios físicos (MORESCHI, 2014) indicam a variação dimensional dos compósitos e os defeitos que possam ocorrer depois da secagem, como os de:
 - a) densidade,
 - b) absorção de água e
 - c) inchamento em espessura;
- ✓ os ensaios mecânicos (LIMA *et al.*, 2018) determinam a resistência do material frente a aplicações de esforços.

Embora materiais plásticos se apresentem com diversas características, são propriedades comuns à maioria dos principais tipos de plásticos: leveza, alta flexibilidade - alta resistência ao impacto; baixas temperaturas de processamento - possibilidade de ajuste fino das propriedades; baixa condutividade elétrica; baixa condutividade térmica; boa resistência à corrosão; porosidade; reciclabilidade (OHARA, 2011).

4 INDÚSTRIA MOVELEIRA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O setor moveleiro é um consumidor de recursos naturais com potenciais renováveis. Constituído por pequenas e médias empresas, utiliza como principal matéria-prima em seus produtos a madeira maciça e painéis de madeira recomposta. Em seus processos produtivos, as indústrias defrontam-se com volumes cumulativos de resíduos que conflitam com as questões ambientais.

Empresas moveleiras podem ser vistas como organizações particulares de fluxos de matéria, energia e informação (ALMEIDA; GIANNETTI, 2012 *apud* KRAVCHENKO; PASQUALETTO; FERREIRA, 2015), cuja evolução deve ser compatível com o funcionamento dos ecossistemas nos quais estão inseridas. Esses autores consideram que a Ecologia Industrial pode contribuir para a percepção de que os sistemas produtivos e os naturais façam parte do mesmo sistema - a biosfera. Tal abordagem permite visualizar essas indústrias como ecossistemas industriais sustentados por ecossistemas naturais produtores de matéria-prima, o que abre possibilidade para minimizar os impactos gerados pelo setor produtivo e melhorar a gestão ambiental, uma vez que o crescimento industrial proporciona aumento constante no consumo de matéria-prima.

Enquadrada nesse contexto, a indústria moveleira precisa gerir cada vez melhor e de maneira sustentável o grande volume de matéria-prima florestal que processa, principalmente nas etapas de beneficiamento de madeira e de painéis recompostos de madeira para a fabricação de móveis, durante as quais há grande geração de resíduos sólidos. Por utilizar, principalmente, produtos derivados da madeira (recurso natural renovável), ainda não tem sido dada nessa linha de indústrias a devida importância no que se refere às questões ambientais. Maffessoni (2012) salienta que os resíduos derivados do emprego de variados tipos de matérias-primas precisam ser geridos em termos de eliminação, redução ou estabelecimento da adequada destinação final de cada tipo, seja para evitar o desperdício de recursos e ou a degradação ambiental (KRAVCHENKO; PASQUALETTO; FERREIRA, 2015).

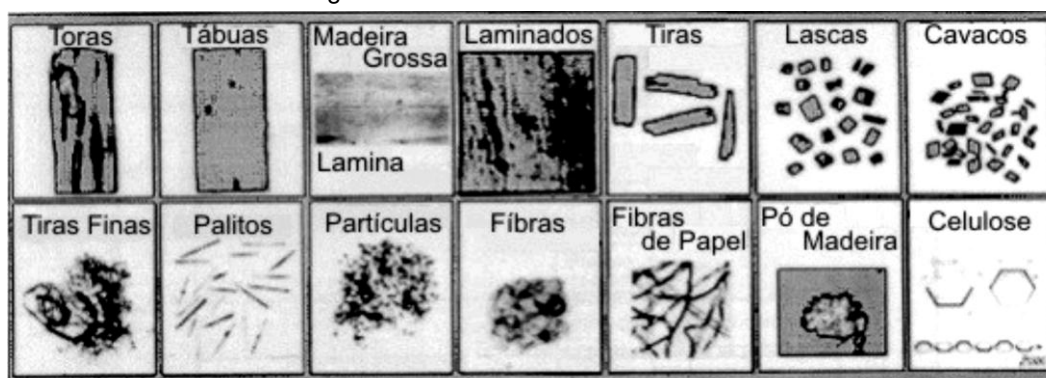
Sob o contexto conceitual ecológico, é essencial buscar alternativas para reciclar materiais que provêm da sobra dos processos industriais do ramo moveleiro.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2007 *apud* ARRUDA; SILVA; MARTINEZ, 2012) conceitua resíduo como tudo o que agrega valor, gerando uma nova cadeia produtiva, ao contrário de lixo que é todo resíduo que não possui valor agregado.

Dar destinação correta aos resíduos sólidos da indústria moveleira é um problema atual que tem sido fundamento de preocupações em todo o mundo. Koch (2012) cita que uma das utilidades desses resíduos é servir como matéria-prima para a fabricação de painéis recompostos de madeira ou para a geração de energia.

Dantas Filho (2004) e Cassilha *et al.* (2004) apresentam tipos de resíduos de madeira (Figura 15 e Quadro 9) que podem ser utilizados numa grande variedade de formas. Dentre os resíduos apresentados, foram adotados para essa pesquisa o pó de madeira como serragem, as fibras e maravalhas como cepilho e a lenha e costaneiras, como cavaco, tendo em vista que resíduos com essas características foram os mais citados nas indústrias moveleiras como fonte principal da geração de resíduos.

Figura 15 – Formas de uso da madeira



Fonte: Dantas Filho (2004).

Wander (2001) e Hüebli (2000, p.130 *apud* CASSILHA *et al.*, 2004) distinguem e classificam os seguintes três tipos principais de resíduos de madeira gerados nas indústrias moveleiras:

- serragem: resíduo originado da operação de serras (possuem dimensões de 0,5 a 2,5mm); encontrada em vários tipos de indústrias, pode ser seca ou úmida e chegar até 12% do volume total de matéria-prima;
- cepilho: resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (possuem mais de 2,5mm), podendo chegar a 20% do volume total de matéria-prima; nas indústrias, é encontrado exclusivamente no estado seco, pois algumas indústrias adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos e forros;
- cavaco: resíduo de maior dimensão (as partículas possuem dimensões máximas de 50mmx20mm, em geral provenientes do uso de picadores), gerado em todos os tipos de indústrias, sendo composto por costaneiras, aparas, refilos, casca e outros; nas serrarias e laminadoras, pode chegar a 50% do volume total de matéria-prima.

O Quadro 9 contém uma classificação de resíduos da indústria moveleira segundo os processos e materiais.

Quadro 9 – Identificação do tipo de processo relacionado com os resíduos produzidos na fabricação de móveis

PROCESSOS	MATERIAIS	RESÍDUOS			
		CAVACOS	CEPILHO	SERRAGEM	PÓ
		Pedaços de madeira maciça ou chapas de tamanho variável	Resíduo de madeira acima de 2,5mm	Resíduo de madeira de 0,5mm a 2,5mm	Resíduo de madeira até 0,5mm
1 - Cortar: define larguras e profundidade das peças	Painéis e madeira maciça	X		X	X
2 - Encaixes: cortes especiais ou curvos	Painéis e madeira maciça	X		X	
3 - Canais: usinagem em peças planas	Painéis e madeira maciça		X	X	
4 - Cepilhar: limpa madeira maciça bruta em quatro faces	Madeira maciça		X		
5 - Furar: facilita a colocação dos parafusos	Madeira maciça e painéis		X		
6 - Lixar: alisa as peças antes do acabamento	Madeira maciça e painéis				X

Fonte: Cassilha *et al.* (2004).

4.1 O Polo Moveleiro de Ubá/MG

O município de Ubá localiza-se na região denominada Zona da Mata, no Sudeste do Estado de Minas Gerais. Com população estimada em 114.265 habitantes (IBGE, 2018), destaca-se devido ao grande número de fábricas do setor moveleiro da microrregião de Ubá, aspecto relevante para movimentação da economia e comércio da região. Atualmente, o Polo Moveleiro de Ubá gera cerca de 13 mil empregos e destaca Minas Gerais no cenário nacional.

Há cerca de 315 empresas efetivamente ativas nesse Polo, predominando as de pequeno e médio portes, voltadas para a produção de móveis residenciais de madeira. Dessas, 86 estavam associadas ao Intersind (v. Anexo A) em abril de 2019. Sediado na cidade de Ubá, abrange também os municípios de Guidoal, Guiricema, Piraúba, Rio Pomba, Rodeiro, São Geraldo, Tocantins e Visconde do Rio Branco. Como integrante da Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário – Abimóvel, o Intersind exerce o papel de detectar e direcionar novas estratégias para potencializar a atuação das indústrias no panorama nacional, atuando na gestão e coordenação das ações que visam o crescimento e o fortalecimento das indústrias da região de Ubá.

O Polo Moveleiro de Ubá está entre os 13 principais do Brasil, os quais, em 2013, abrangiam 19.000 indústrias e 330.000 empregos, produziram 11,8 milhões em peças e tiveram faturamento de R\$2,9 bilhões (ABIMÓVEL, 2014).

Segundo o Relatório Setorial da Indústria de Móveis no Brasil (2017), 88,4% das indústrias de móveis do Estado de Minas Gerais produzem móveis de madeira, 6,9% móveis de metal e 4,7% outros móveis e colchões. Em 2016, o Estado de Minas Gerais possuía aproximadamente 14% das unidades do segmento móveis de madeira do País e 13,5% de todas as unidades dos segmentos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Número de unidades produtoras de acordo com o tipo de produto fabricado

Segmentos	Minas Gerais	Brasil	MG/Brasil [%]
Móveis de madeira	2.450	17.522	14,0
Móveis de metal	192	1.667	11,5
Outros móveis	81	809	10,0
Colchões	48	455	10,5
Total	2.771	20.453	13,5

Fonte: IEMI (2017).

Das unidades produtoras de móveis nos principais polos moveleiros de Minas Gerais, 16,7% estão no polo de Belo Horizonte, 10,9% no polo de Ubá e 5,5% no polo de Carmo do Cajuru. Os dados da produção de móveis e colchões no período 2014 a 2016 nos polos moveleiros de Minas Gerais estão sintetizados na Tabela 7 (BRASIL MÓVEIS, 2017).

Tabela 7 – Produção de móveis e colchões no polo de Minas Gerais

Polo no Estado	2014		2015		2016	
	Nº peças	[%]	Nº peças	[%]	Nº peças	[%]
Ubá	30.405	45,2	28.181	45,2	27.013	46,2
Belo Horizonte	7.808	11,6	7.550	12,1	6.379	10,9
Carmo do Cajuru	3.915	5,8	3.621	5,8	3.440	5,9
Outros polos	25.140	37,4	23.062	36,9	21.665	37,0
Minas Gerais	67.268	100,0	62.415	100,0	58.497	100,0

Fonte: IEMI (2017).

4.2 Quantificação de resíduos no Polo Moveleiro de Ubá

Estimar a quantidade dos resíduos de madeira gerados nos processos industriais de um Polo Moveleiro, como o da região de Ubá/MG, pode sinalizar um potencial econômico regional para o uso dos resíduos em composição com algum tipo de resina para se fabricar painéis recompostos de madeira utilizáveis no setor da construção civil em substituição à madeira maciça.

Para tal estimativa, buscou-se obter informações relacionadas com a produção de móveis como: produtos com maior demanda de fabricação; matéria-prima utilizada; procedimentos para evitar perdas na estocagem da matéria-prima; percentagem de uso de cada tipo de material; percentagem de perda em resíduos; e forma de descarte.

Na ausência de dados globais oficiais diretos sobre geração de resíduos no Polo Moveleiro de Ubá, foram obtidos indireta e informalmente dados junto a pessoas que conhecem a dinâmica produtiva das indústrias de móveis do Polo Moveleiro de Ubá. Entretanto, parte dessa lacuna pôde ser contornada mediante a obtenção de alguns dados junto a dezessete empresas associadas ao Intersind outros no capítulo que expõe parte de um diagnóstico da Simbiose (2013). A partir do tratamento e da interpretação desses dados referenciais, eles foram expandidos para estimar a geração de resíduos no Polo Moveleiro de Ubá. Os resultados estão apresentados a seguir.

A atividade comercial de cada empresa traduz-se pelo produto fabricado. No Quadro 10 são apresentados os produtos e as empresas que fabricam esses produtos compostos da madeira e seus derivados. As empresas estão identificadas por letras.

Quadro 10 – Atividade comercial das empresas quanto ao uso da madeira e seus derivados

Produto	Empresas																	Total
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Salas de jantar		X	X		X		X		X					X			X	7
Estofados	X									X		X						3
Móveis infantis															X			1
Dormitórios			X	X		X			X		X		X				X	7
Móveis decorativos						X					X							2
Móveis para cozinha						X								X		X		3
Esquadrias							X											1
Móveis para escritório								X										1
Outros								X										1

Fonte: Autora (2019).

Além dos produtos mencionados no Quadro 10, as indústrias do Polo Moveleiro de Ubá fabricam também móveis planejados, bases e pés para cadeiras e extratos de cama para dormitórios, sendo os produtos terceirizados vendidos para outras empresas de móveis.

Quanto aos tipos de produtos de madeira usados e ou seus derivados, assim como a espécie de madeira, foram identificados a madeira maciça (eucalipto e pinus) e os painéis de MDF e MDP (Quadro 11) como os mais utilizados nos processos de fabricação dos produtos.

Quadro 11 – Matéria-prima usada nos processos de fabricação das empresas

Matéria-prima	Empresas																	Total
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Madeira maciça (eucalipto)	X	X		X		X	X		X	X		X		X				9
Madeira maciça (pinus)				X					X						X			3
Painéis HDF							X						X				X	3
Painéis MDF		X	X	X	X	X	X				X			X	X		X	10
Painéis MDP			X	X		X	X						X		X		X	7
Painéis MDP CRU																X		1
Painéis MDP BP								X								X		2
Painéis MDF BP								X										1
Compensado							X											1
Outros *	X								X									2

Fonte: Autora (2019).

Nota: * Chapas de fibras (pinus e eucalipto), madeira maciça (tauari) e painéis aglomerados.

Foi identificado também o seguinte para o uso dessas matérias-primas:

- consciência ambiental, tendo em vista a escassez das madeiras nativas, o custo de matéria-prima industrializada derivada da madeira ser mais viável que a nativa, menos trâmites junto a órgãos ambientais para a compra e a beleza e qualidade dos móveis;
- o uso de painéis se justifica pelo fato de os móveis serem fabricados em série e os painéis melhor atenderem aos processos de corte na linha de produção da empresa;
- a utilização da madeira de eucalipto reflorestada, principal matéria-prima na confecção de cadeiras, produto com maior fabricação atualmente; além do fator reflorestamento, essa madeira é mais fácil na comercialização,;
- o uso da espécie eucalipto se deve ao fato de ser uma madeira mais resistente e de maior demanda na região do polo;
- qualidade e praticidade do processo produtivo e redução no custo do produto final.

A madeira e seus derivados estão sujeitos a alterações dimensionais, como torções, empenamentos etc., que podem gerar resíduos pela inutilização das peças. Quanto a tais ocorrências, é importante observar procedimentos em relação a transporte e armazenamento, assim como fatores interligados a processos de produção, armazenamento, transporte, secagem, dentre outros. No caso das 17 empresas do polo moveleiro nominadas de A a Q, foi identificada a adoção de uma ou mais das seguintes medidas:

- para controle de empenos, a madeira passa por um processo de secagem ao tempo, seguindo-se a estocagem em galpão coberto, reduzindo as perdas;

(Esse procedimento é feito com madeira em tábuas, as quais, após atingirem teor de umidade de 12% a 16%, estão prontas para serem sarrafeadas - leva cerca de 90 a 180 dias para alcançar tal teor de umidade; segue-se o processo de preparação, no qual a madeira é serrada nas medidas e espessuras desejadas e eliminados os empenos das peças);

- a madeira e o MDF laminado chegam na fábrica por transporte terceirizado e são armazenados em galpão fechado, evitando-se a exposição aos fatores climáticos (chuva e insolação);
- cuidados com as peças são tomados pela empresa no transporte por trilhos, sendo dispostas em posição horizontal para evitar empenamentos; o armazenamento é feito em paletes; quando o produto está finalizado, é armazenado no estoque em posição vertical;
- empilhamento em piso nivelado na altura máxima determinada pelo fabricante;
- armazenamento, por controle do tipo FIFO (*first in, first out*) - o primeiro produto a entrar no armazém deve ser também o primeiro a sair, com o objetivo de evitar a perda por vencimento da mercadoria;
- todo material é acondicionado no interior da fábrica, em lugar todo coberto, limpo, apoiado em piso industrial de concreto armado, nivelado;
- prática de melhoria contínua nas condições de armazenamento;
- aquisição de madeiras secadas em estufas;
- disposição em volumes com menores quantidades de peças;
- empilhamento e tabicamento das peças pré-cortadas maiores; em peças pré-cortadas menores, a compra se faz em pacotes amarrados para evitar o empeno, sendo esta considerada a melhor forma de armazenar o empilhamento para que fiquem travadas, facilitando a movimentação;
- materiais sempre transportados e estocados em superfície plana horizontal;
- o eucalipto é secado e depois desengrossado para obter uma padronização da madeira;
- as peças são sobrepostas em camadas e, em seguida, travadas com uma máquina chamada arqueadora, para se evitar assim o empeno;
- a madeira chegar à fábrica em fardos com capa de proteção, amarrados e acondicionados em locais cobertos, sem exposição à luz solar e a fatores de umedecimento, com empilhamento controlado;

- aplicação de normas que as empresas transportadoras seguem para o transporte dos painéis, para evitar que cheguem com defeito ou empenados e sejam devolvidos ;
- depósitos de armazenamento temporário dos painéis são cobertos, têm piso impermeabilizado e serem bem ventilados para se evitar acúmulo de umidade e consequentemente danos aos painéis.

Os produtos comercializados das empresas moveleiras são compostos por diversos tipos de matéria-prima, sendo fabricados mediante processos de colagem, envernizamento, pintura, estrutura etc. Usa-se a madeira e seus derivados na parte principal dos móveis, a estrutura. No Quadro 12, verifica-se a percentagem de uso desses materiais - madeira e seus derivados na fabricação de produtos por empresa.

Quadro 12 – Percentual de uso de matéria-prima na fabricação dos produtos

Uso da matéria-prima nos produtos [%]																	
Empresas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P*	Q
Matéria-prima																	
Madeira maciça (eucalipto)	40	60	5	5		5	60		5	100	50	80		85			
Madeira maciça (pinus)	40			5					5						5		
Painéis HDF													10				10
Painéis MDF	15	30	70	40	100	5	30		55		50			10	55		45
Painéis MDP			25	50		90	10		35				90		45		45
Painéis MDP CRU																	2
Painéis MDP BP								90									3
Painéis MDF BP								10									
Compensado												20		5			
Outros	5	10															

Fonte: Autora (2019).

Nota: * Essa empresa utiliza diferentes matérias-primas na fabricação de seus produtos, como aço, vidro, polímeros etc.; o uso de madeira nos seus produtos fica restrito a 5%, sendo empregados painéis MDP CRU e painéis MDP BP.

Outra questão da pesquisa refere-se ao levantamento da quantidade de matéria-prima provinda dos processos industriais que se perde em determinado período sob a forma de resíduo, com ou sem nenhuma destinação adequada, para se verificar a possibilidade de esses resíduos serem inseridos em painéis recompostos de madeira para uso nas edificações. Para base de cálculo da quantidade de resíduos, dezesseis empresas associadas ao Intersind disponibilizaram dados da quantidade de matéria-prima adquirida e dos tipos de resíduos de madeira provenientes dos processos industriais. Nessas empresas do Polo Moveleiro de Ubá, os dois tipos de resíduos de madeira mais citados foram o cavaco e a serragem.

As quantidades informadas de matéria-prima comprada e o total de resíduos estavam em metro cúbico, convertidos para quilograma para análise (Tabela 8). Os

painéis são adquiridos pelas empresas em metro quadrado, por sua espessura variar para cada tipo de produto. Os dados informados foram baseados na compra para atender a demanda da produção e a geração de resíduos no período de um mês, sendo a mais recente na data em que a pesquisa foi realizada (set. a nov. de 2018).

Tabela 8 – Matéria-prima adquirida e resíduos de madeira gerados, por mês

PERCENTUAL MÁSSICO DA PERDA DE MATÉRIA-PRIMA, COMO RESÍDUOS DE MADEIRA							
Empre- sa	Matéria-prima	Quantidade adquirida		Tipo de resíduo de madeira	Quantidade perda/resíduo		Total [B] Total [A] [%]
		Volume [m³]	Massa [A] [kg]		Volume [m³]	Massa [B] [kg]	
A	Madeira maciça ²	496	347.200	Cavaco	80	18.640	24,4
	Painéis ³	0	0	Serragem	240	66.000	
	Total	496	347.200	Total	320	84.640	
B	Madeira maciça	7	4.900	Cavaco	0	0	23,2
	Painéis	3	2.223	Serragem	6	1.650	
	Total	10	7.123	Total	6	1.650	
C	Madeira maciça	25	17.500	Cavaco	45	10.485	5,1
	Painéis	550	401.352	Serragem	40	11.000	
	Total	575	418.852	Total	85	21.485	
D	Dados não informados pela empresa						
E	Madeira maciça	0	0	Cavaco	25	5.825	1,3
	Painéis	1.300	963.144	Serragem	23	6.325	
	Total	1.300	963.144	Total	48	12.150	
F	Madeira maciça	25	17.500	Cavaco	15	3.495	2,6
	Painéis	475	333.522	Serragem	20	5.500	
	Total	500	351.022	Total	35	8.995	
G	Madeira maciça	38	26.250	Cavaco	20	4.660	21,1
	Painéis	31	21.920	Serragem	20	5.500	
	Total	69	48.170	Total	50	10.160	
H	Madeira maciça	0	0	Cavaco	7	1.631	1,6
	Painéis	270	190.104	Serragem	5	1.375	
	Total	270	190.104	Total	12	3.006	
I	Madeira maciça	35	24.500	Cavaco	30	6.990	4,7
	Painéis	335	242.880	Serragem	20	5.500	
	Total	370	267.380	Total	50	12.490	
J	Madeira maciça	100	70.000	Cavaco	65	15.029	31,7
	Painéis	0		Serragem	26	7.150	
	Total	100	70.000	Total	91	22.179	

² Espécies de madeira maciça: pinus e eucalipto.

³ Painéis recompostos de madeira: MDF, MDP, OSB, HDF, MDP CRU, MDP BP, MDF BP, compensados.

Tabela 8 – Matéria-prima adquirida e resíduos de madeira gerados, por mês

PERCENTUAL MÁSSICO DA PERDA DE MATÉRIA-PRIMA, COMO RESÍDUOS DE MADEIRA							
Empre-sa	Matéria-prima	Quantidade adquirida		Tipo de resíduo de madeira	Quantidade perda/resíduo		Total [B] Total [A] [%]
		Volume [m³]	Massa [A] [kg]		Volume [m³]	Massa [B] [kg]	
K	Madeira maciça	15	10.500	Cavaco	20	4660	47,0
	Painéis	15	11.113	Serragem	20	5500	
	Total	30	21.613	Total	40	10.160	
L	Madeira maciça	60	42.000	Cavaco	12	2.796	6,7
	Painéis	16	11.854	Serragem	3	825	
	Total	76	53.854	Total	15	3.621	
M	Madeira maciça	0	0	Cavaco	80	18.640	1,5
	Painéis	1.800	1.260.000	Serragem	80	22.000	
	Total	1.800	1.260.000	Total	160	40.640	
N	Madeira maciça	102	71.400	Cavaco	15	3.495	8,0
	Painéis	18	13.091	Serragem	12	3.300	
	Total	120	84.491	Total	27	6.795	
O	Madeira maciça	44	30.625	Cavaco	0	0	3,1
	Painéis	1.207	870.692	Serragem	100	27.500	
	Total	1.251	901.317	Total	100	27.500	
P	Madeira maciça	0	0	Cavaco	46	10.814	1,9
	Painéis	814	570.108	Serragem	0	0	
	Total	814	570.108	Total	46	10.814	
Q	Madeira maciça	0	0	Cavaco	1.506	350.898	14,2
	Painéis	5.953	4.288.759	Serragem	937	257.675	
	Total	5.953	4.288.759	Total	2.443	608.573	
TODAS A-Q	Madeira maciça	947	662.375	Cavaco	1.966	458.058	9,0
	Painéis	12.784	9.180.762	Serragem	1.552	426.800	
	Total	13.731	9.843.137	Total	3.518	884.858	

Fonte: Autora.

Do emprego de tecnologias e processos de fabricação diferenciados, resulta a geração de resíduos da madeira e dos painéis que compõem as distintas linhas de produtos fabricados no Polo Moveleiro de Ubá. Em prospecção que teve por base os dados constantes na Tabela 8, acima, e as Tabelas 9 a 12 do relatório da Simbiose Ambiental (2013), verificou-se que a quantidade gerada de resíduos de madeira, em massa (kg/mês), sob a forma de serragem, cepilho e cavaco, situa-se na faixa de 7% a 17% da matéria-prima adquirida (madeira maciça e painéis). Também, tomou-se 315 como número de referência de empresas envolvidas na fabricação de móveis de madeira (maciça e painéis) efetivamente em atividades no Polo Moveleiro de Ubá em

2018-2019. Assim, gerou-se na presente pesquisa a Tabela 9 para se ter uma base de referência quanto à potencial geração de resíduos de madeira no referido Polo.

Tabela 9 – Potencial geração de resíduos de madeira no Polo Moveleiro de Ubá, em 2019

Porte da empresa	Quantidade de empresas tomadas por base		Massa média referencial de resíduos de madeira gerada por empresa moveleira [kg/mês]		Potencial massa de resíduos de madeira gerada por empresas associadas ao Intersind [kg/mês]		Potencial massa de resíduos de madeira gerada pelas empresas do Polo Moveleiro [kg/mês]	
	Intersind	Polo Moveleiro	7%	17%	7%	17%	7%	17%
Grande	4	7	129.731	315.062	518.925	1.260.247	908.119	2.205.433
Média	15	40	29.526	71.705	442.885	1.075.579	1.181.027	2.868.209
Pequena	27	100	21.463	52.125	579.512	1.407.385	2.146.339	5.212.538
Micro	24	168	4.489	10.902	107.736	261.645	754.154	1.831.517
Soma	70	315	185.209	449.794	1.649.059	4.004.856	4.989.640	12.117.697
Referência em m³/mês			258	627	2.300	5.587	6.960	16.904

Fonte: Autora.

Ressalta-se a grande dificuldade em obter tais informações nas empresas por devido a, na maioria dos casos, o próprio empresário ou o responsável não saber especificar quanto de resíduo era gerado na empresa, tendo que recorrer ao técnico de segurança do trabalho para apresentar essas informações, ou, ainda, à diversidade de tipos de armazenamento e transporte encontrados nas empresas: umas armazenam em tambores, outras em contêineres ou em caçambas. É constatável que muitas não têm controle da quantidade, em volume ou massa, dos meios de armazenamento.

Nas empresas listadas na Tabela 8, todos os resíduos de madeira decorrem dos processos de produção e as medidas que utilizam, supramencionados, contribuem para que não haja perda de madeira/derivados em outros procedimentos.

A estimativa projetada na Tabela 9, resultante da prospecção, indica uma perda mássica mensal de matéria-prima no Polo Moveleiro de Ubá, sob a forma de resíduos de madeira, deve oscilar de 4972m³ ou 3.564t para perdas de 5% a 16.904m³ ou 12.117t para perdas de 17%, esses resíduos são destinados (v. Quadro 13) à geração de energia em indústrias cerâmicas (na queima), à reciclagem, à produção de carvão ou ao descarte com incineração. Dessa destinação, boa parte das empresas encaminha os resíduos para fábricas que, por meio da queima, transformam-nos em fonte energética como combustível ou, simplesmente, são descartados para incineração. Ressalta-se que aos processos de combustão associa-se a liberação de gases nocivos à saúde e ao meio ambiente devido à presença de substâncias com potencial toxicológico ou cancerígeno nos resíduos.

Quadro 13 – Destinação dos resíduos de madeira gerados nas empresas

Destinação dos resíduos	Empresas																	Total
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Dispostos ao ambiente																		0
Queima/Combustível	X		X		X								X	X		X		6
Produção de carvão		X	X															2
Reciclagem (novos produtos)						X		X										2
Descarte, para incineração				X		X	X		X		X	X					X	7
Outros			X		X					X	X				X			5

Fonte: Autora.

Um emprego atual desses resíduos é uma fábrica de cerâmicas e lajotas existente na região do Polo Moveleiro, na qual são utilizados para alimentar os fornos no processo de queima das lajotas.

Do total de empresas que disponibilizaram gentilmente alguns dados, cinco informaram vender os resíduos no valor de R\$5,00, R\$10,00 e R\$15,00 o metro cúbico. Outras cinco têm um custo para retirada do produto, ou seja, pagam para coletar esses materiais. Outras sete doam o material, sendo o transporte sempre de responsabilidade da empresa geradora do resíduo. Das dezessete empresas, duas informaram aproveitar os resíduos de madeira nos seus processos de produção, como combustível ou, ainda, necessitam comprar resíduos de outras indústrias.

Ainda que parte dos resíduos gerados seja consumida pela fábrica de cerâmica existente na região, outra parte é doada, tendo a empresa receptora desses resíduos licença ambiental de funcionamento para esse fim; além desta fábrica de cerâmica, também há destinação para outra fábrica de piso cerâmico no estado do Rio de Janeiro. Outra parte dos resíduos é encaminhada para Pedro Leopoldo/MG para gerar energia para o processo produtivo de uma fábrica de cimento.

Corrêa, Duarte e Abreu (2016) ressaltam que apesar da representatividade do setor moveleiro na economia nacional e da quantidade de empresas neste setor, são poucas as iniciativas de programas de gerenciamento de resíduos ou de algum tipo de reaproveitamento.

O resultado dessa etapa da pesquisa indicou o provável potencial de resíduos gerados mensalmente no Polo Moveleiro de Ubá, podendo ser uma oportunidade aplicá-los na fabricação de novos produtos.

4.3 Potencial emprego de resíduos de madeira do Polo Moveleiro de Ubá na fabricação de painéis de madeira recomposta para habitações

Com base nos dados obtidos (Tabela 8) e nos estimados (Tabela 9) sobre a quantidade de resíduos das indústrias moveleiras do Polo Moveleiro de Ubá, entende-se que um potencial aproveitamento pode ser empregá-los como matéria-prima para produção de painéis recompostos de madeira aplicáveis em partes constituintes de uma habitação.

Volta-se a salientar que o Polo Moveleiro de Ubá possui aproximadamente 315 indústrias em efetiva atividade na produção de móveis, em termos de tipos e características, categorizados nas denominadas linhas alta a baixa, atendendo a diversos perfis de consumidores.

Tendo como referência a geração mássica mensal de resíduos, constata-se que essa geração supera as demandas das indústrias cerâmicas da região, situação que faz com que grande parte das indústrias descartem de forma incorreta os resíduos, por falta de alternativas.

Do exposto, entende-se que uma indústria para fabricação de painéis recompostos de madeira pode ser uma solução para a questão dos resíduos de madeira das indústrias moveleiras, não somente do Polo Moveleiro de Ubá, mas também de outras indústrias que trabalham com o beneficiamento da madeira, como serrarias que produzem grandes quantidades de resíduos com o seu desdobramento. As indústrias, além do uso da madeira maciça, poderiam utilizar também painéis de recompostos de madeira resultantes de uma logística reversa, com seus resíduos retornando como matéria-prima para a fabricação de novos produtos, por exemplo na forma de painéis para a construção civil, setor em que podem ser usados como componentes em diversas partes do sistema construtivo.

No caso de resíduos da madeira provenientes de serrarias, não precisariam necessariamente de passar por processos rigorosos para a composição de outros produtos. Já resíduos de madeira da fabricação de móveis podem estar misturados a materiais como vernizes, resinas, poliuretano, poliestireno, tinta, entre outros, necessitando de outros processos para obtenção de um novo produto.

5 CONCLUSÃO

A busca inicial da pesquisa foi estudar na literatura possibilidades para incorporar na fabricação de painéis recompostos de madeira os resíduos da madeira gerados por indústrias moveleiras, estes atualmente considerados um problema ambiental e um desperdício de matéria-prima no âmbito do Polo Moveleiro de Ubá. Nesse sentido, a busca procurou identificar e focar possibilidades com potencial de inserção dos painéis em partes constituintes de edificações. Diferentes trabalhos resultantes de pesquisas mencionadas nos primeiros capítulos indicam viabilidade técnica diante de testes realizados em laboratórios, apontando que os resíduos de madeira gerados em processos de fabricação de indústrias moveleiras combinados com algum tipo de aglomerante podem compor vários tipos de painéis recompostos de madeira, como MDF, MDP e OSB, assim como a denominada madeira plástica, composta por resíduos de madeira e resíduos de diversos tipos de materiais plásticos.

Produzir na região do Polo Moveleiro de Ubá painéis recompostos por materiais recicláveis, além de poder gerar uma mudança na economia das indústrias responsáveis pela geração desses resíduos, também torna-se um fator determinante para beneficiar o meio ambiente, a construção civil e a sociedade.

Aspecto relevante refere-se aos benefícios da madeira como matéria-prima para habitação, considerando-se o sistema construtivo, as propriedades físicas e mecânicas desse material, os agentes relevantes e as condições de exposição em uso. Frente aos materiais madeira e seus derivados apresentados nesta pesquisa, suas propriedades e os requisitos de desempenho para as partes constituintes de uma habitação, pode-se dizer que há um potencial favorável à exploração e incorporação de painéis recompostos com resíduos da madeira em edificações. Portanto, além da importância de conhecer as propriedades dos materiais, e assim poder identificar em quais partes da edificação aplica-se ou não se aplica cada componente, impõe-se de forma mais concreta, frente às questões socioambientais atreladas à geração de resíduos de madeira, perceber e consolidar novas alternativas na engenharia e na arquitetura quanto a materiais de construção e o cenário de desenvolvimento de novas tecnologias.

Nessa direção, a obtenção de dados e informações sobre resíduos de madeira gerados nas indústrias moveleiras do Polo de Ubá deu relevo à consolidação da pesquisa, pela perspectiva de um potencial regional para aproveitá-los na fabricação de painéis recompostos aplicáveis em habitações, em particular se isso for

considerado sob a ótica de as empresas apresentarem dificuldades de reciclar esses resíduos, algo ainda fora do escopo dos seus negócios. Esse 'em particular' está exposto e evidenciado na quantificação estimada e apresentada na Tabela 9, o que por si só requer a busca de alternativas e uma solução melhor para adequação dos resíduos e geração de novos produtos. A fabricação de painéis recompostos para o setor de construção civil é uma alternativa que merece ser estudada e avaliada em termos técnicos, econômicos, comerciais e de impactos ambiental e social.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros sugere-se realizar uma coleta e posterior caracterização em laboratório dos resíduos gerados nas indústrias moveleiras relacionados a forma, densidade, impurezas e procedimentos para produção dos painéis recompostos de madeira aplicáveis às condições de exposição e uso em habitações.

Comparação dos resíduos provenientes das indústrias moveleiras com a matéria-prima usada na fabricação de painéis. Analisar fatores impeditivos técnicos como formato dos grãos, impurezas e materiais inadequadas e fatores econômicos como custo de transporte e processamento, dentre outros.

Análise da viabilidade econômica para o uso de painéis recompostos de madeira residuária como parte constituinte de uma habitação em madeira maciça comparada a uma construção em alvenaria convencional.

REFERÊNCIAS

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial 2009, ano base 2008**. 48 p. Curitiba PR. 2009.

ABIMÓVEL - Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário. Disponível em: <http://abimovel.com/img/download/pt/download-pt_14.pdf>. Acesso em 16/10/2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12498: (ABNT/PB 1560) Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral – Requisitos**. 2ª edição. Agosto, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1: Painéis de partículas de média densidade – Parte 1: Terminologia**. 3ª edição. Dezembro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-2: Painéis de fibras de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Abril, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira**. São Paulo, 1997.

ALENCAR, J. B. M.; MOURA, J. D. M. **Qualidade da adesão da madeira de pinus e eucalipto para produção de painéis estruturais *cross laminated timber (CLT)***. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, AL. 2014.

ALLPEX. **Madeira plástica**. Disponível em :<<https://www.madeiraplastica.allpex.com.br/>>. Acesso em 14 de abril 2019.

ALMEIDA, A. B. **Madeira plástica: Estudo de viabilidade técnico e econômico a partir do resíduo sólido**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2013.

ALMEIDA, J. E.; LOGSDON, N. B.; JESUS, J. M. H. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido**. Revista Floresta, v. 42, n. 1, p. 189 – 200. Curitiba, PR. Cuiabá, MT, Brasil.31/08/2011.

ALMEIDA, J. E.; LOGSDON, N. B. **Reaproveitamento de materiais para serem utilizados na construção civil: Reuso de serragem e isopor para painéis de madeira aglomerada**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, MG. 2012.

ANDRADE, A. B. P. P. **Aproveitamento de resíduos de laminação da madeira para a produção de painel estrutural**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Itapeva, SP. 2012.

ANTONIOLI, P. E. **Estudo crítico sobre subsídios conceituais para suporte do planejamento de sistemas de gerenciamento de facilidades em edificações produtivas**. Universidade de São Paulo - USP. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). São Paulo, SP. 2003.

ARAÚJO, H. J. B. **Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras**. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

ARRUDA, P. P.; SILVA, A. O.; MARTINEZ, R. G. **Utilização de resíduos de madeira como elemento construtivo**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, MG. 2012.

BLANCHET, P.; CLOUTIER, A.; RIEDL, B. **Particleboard Made From Hammer Milled Black Spruce Bark Residues**. Wood Science and Technology, v. 34, n. 1, p. 11-19, Mar. 2000.

BONIN, L. C. **A abordagem sistêmica da produção de edificações**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Porto Alegre, RS. 1987.

BOTREL, M.C.G.; SILVA, J.R.M.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; FERNANDES, B.F. **Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus***. Scientia Forestalis, n. 76, p. 13-19. Piracicaba. 2007.

BRASIL MÓVEIS 2017. **Relatório Setorial da Indústria de Móveis no Brasil**. Instituto de Estudos e Marketing Industrial – IEMI; Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário - ABIMÓVEL. V.12, nº 12, p. 1-274. São Paulo, SP. Set. 2017.

CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R.; DELLA LÚCIA, R. M.; PIMENTA, A. S.; SOARES, C. P. B.; CARVALHO, A. M. M. L. **Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *eucalyptus grandis*, *eucalyptus urophylla*, *eucalyptus cloeziana* e *pinus elliottii***. Revista Árvore. Viçosa-MG, v.30, n.4, p.659-668, 2006.

CALIL JÚNIOR, C. **O potencial das madeiras de reflorestamento**. Revista Técnica. Página 55 a 57. 01/2003. Edição nº 70. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/70/artigo285255-1.aspx>>. Acesso em 02/09/2018.

CALIL JÚNIOR, C. **O potencial do uso da madeira de pinus na construção civil**. Revista Técnica. Página 44 a 48. 03/2002. Edição nº 60. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/o-potencial-do-uso-da-madeira-de-pinus-na-construcao-81480-1.aspx>>. Acesso em 02/09/2018.

CALIL JÚNIOR, C. **Taxa de carbonização da madeira x resistência ao fogo**. Revista Técnica. www.revistatechne.com.br. P. 58 - 61. 11/2004. Edição nº 92. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/92/artigo285645-1.aspx>>. Acesso em 02/09/2018.

CARVALHO, A. **Madeiras: estrutura anatômica, propriedades, utilizações**. Volume I. Lisboa: Instituto Florestal. 340p Wood Portugal/Madeira Portugal. 1996.

CARVALHO, M. M. P. **A madeira e seus derivados na indústria da construção - reabilitação de elementos de madeira**. Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia – FCEE. Universidade da Madeira. Dissertação de mestrado. Campus Universitário da Penteada. Portugal. Setembro, 2016.

CASSILHA, A. C.; PODLASEK, C. L.; CASAGRANDE JÚNIOR, E. F.; SILVA, M. C.; MENGATTO, S. N. F. **Indústria Moveleira e Resíduos Sólidos: Considerações para o Equilíbrio Ambiental**. Revista Educação & Tecnologia. Curitiba, Editora do CEFETPR, v. 8, p. 209-228, 2004.

CASTRO, I. S. **Aplicabilidade da madeira plástica na construção civil e potencial para sua produção em Boa Vista – RR**. Universidade Federal de Roraima, Centro de Ciência e Tecnologia. Boa Vista – RR. 2017.

CORRÊA, G. R.; DUARTE, A. L.; ABREU, L. G. **Resíduos da indústria moveleira: diagnóstico nas empresas associadas ao SINDIMOV-MG**. 12º P & D 2016 – Congresso Brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em design. Belo Horizonte – MG. Outubro/2016.

COSTA FILHO, R.F. **Sistema construtivo em madeira: Modelo referência para habitação na Zona da Mata de Minas Gerais.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, MG. 2017.

DANTAS FILHO, F. P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** 117 f. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas – UEC. Campinas SP. 2004.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado. Piracicaba, SP. 2000.

ENGLISH, B.; FALK, R.H. **Factors that affect the application of woodfiber-plastic composites.** Proceedings: Wood-Plastic Conference, p. 60-72, Baltimore, 2000 (b).

ESPÍNDOLA, L. R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade.** Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Dissertação de mestrado. Florianópolis, SC. 2010.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. **Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones.** Forest Products Journal, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FERREIRA, E. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tanino de acácia negra.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2010.

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira *schizolobium amazonicum* e resina poliuretana a base de óleo de mamona: Viabilidade técnica de produção.** Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP. 2013.

GOMES, J. B. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica e resíduos gerados pela manufatura do MDF (*medium density fiberboard*).** Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Natal, RN. 2015.

GORSKI, L. **Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de *pinus spp.* e *eucalyptus benthamii*.** Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC. 2014.

GUIMARÃES, L. F. C. **Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos na produção de madeira plástica por meio da utilização de materiais reciclados.** Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, MG, Abril de 2013.

HILLIG, E.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J. **Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra.** Ciência Florestal, v. 12, n. 1, p. 59-70. Santa Maria. 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uba/panorama>>. Acesso em 18/01/2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION. **ISO 6241:** Performance standard in building – principles for their preparation and factors to be considered. Geneva. 1984.

INTERSIND - Sindicato Intermunicipal das Indústrias do Mobiliário de Ubá. Disponível em: <<http://www.intersind.com.br/index.php>>. Acesso em 16/10/2018.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Madeira: Uso sustentável na construção civil.** Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente, Sinduscon SP. 2ª Edição. São Paulo, SP. 2009.

IWAKIRI, S. MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. **Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas - OSB.** Universidade Federal de Lavras. Cerne, v. 10, n. 1, p. 46-52. Lavras MG. 2004.

JDR Sistemas Construtivos. **Divisórias para escritórios.** Disponível em: <<http://jdrsistemasconstrutivos.blogspot.com/>>. Acesso em 09/07/2018.

KELLY, M. W. **Between processing parameters and physical properties of particleboard.** Madison, Wi: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 65p. (General Technical Report FPL-10). 1977.

KOCH, M. R. **Gestão de resíduos sólidos de uma indústria de aglomerados e moveleira – um olhar para sustentabilidade.** Dissertação de mestrado. UNIVATES. Lajeado RS. 2012.

KOKUBUN, Y. E. **O processo de produção de um sistema construtivo em painéis estruturais pré-fabricados em madeira.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP. Dissertação de mestrado. São Paulo, SP. 2014.

KRAVCHENKO, G. A.; PASQUALETTO, A.; FERREIRA, E. M. **Aplicação de princípios da ecologia industrial nas empresas moveleiras de Goiás.** SENAI, Departamento Regional de Goiás, Faculdade de Tecnologia SENAI Ítalo Bologna. DOI: 10.1590/S1413-41522016139073. Goiânia, GO. 2015.

LACOMBE, J. E. A. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil.** USP – Universidade de São Paulo. São Carlos. 2015.

LANCASHIRE, R.; TAYLOR, L. **Pocket guide to timber frame.** Trada Technology Ltd, 64 p, 2009.

LEAL, U. **Madeira de cara nova.** Revista Técnica nº 59. Ano 2002. Página 30. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/59/popular-com-tecnologia-285220-1.aspx>>. Acesso em 30/08/2018.

LIMA, D. C.; MELO, R. R.; SANTANA, R. R. C.; BOTAN, E.; STANGERLIN, D. M.; SANTANA, R. M. C. **Compósitos madeira-plástico manufaturados com resíduos de serraria e embalagens descartadas de polipropileno.** Pesquisas Agrárias e Ambientais. Nativa, Sinop, v.6, n.1, p. 79-84, fev. 2018.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. **Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

LOPES, M. **A madeira plástica e seus efeitos e vantagens para a arquitetura sustentável.** 2016. Disponível em: <<http://www.temsustentavel.com.br/a-madeira-plastica-e-seus-efeitos-e-vantagens-para-a-arquitetura-sustentavel/>>. Acesso em 24/07/2018.

MACEDO, L. B.; FERRO, F. S.; VARANDA, L. D.; CAVALHEIRO, R. S.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. **Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira produzidos com adição de película de polipropileno biorientado.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. 2015.

- MACEDO, L. B. **Painéis OSB de madeira *pinnus sp.* e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP)**. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Estrutural. São Carlos, SP. 2014.
- MAFFESSIONI, D. **Análise da situação ambiental das indústrias do polo moveleiro de Bento Gonçalves**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, RS. 2012.
- MALAFAIA, M. **Casa com frame de madeira e paredes de OSB**. Revista Técnica nº 69. Ano 2002. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/69/artigo285252-1.aspx>>. Acesso em 08/09/2018.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman. 696 p. 1993.
- MANDOLESI, E. Edificación. **El proceso de edificación. Los protagonistas del proceso de la edificación**. Capítulo segundo. Ediciones CEAC S. A. 1ª ed., Barcelona, España, 1981.
- Manual de Recomendações Práticas. **Painéis MDP Masisa**. Outubro 2012. Disponível em: <http://www.masisa.com/bra/wpcontent/uploads/2015/05/Manual_MDP1.pdf> Acesso em julho 2018.
- MELO, R.R. **Estabilidade dimensional de compostos de madeira**. Ciência da Madeira, Pelotas, v. 4, n. 2, p. 152-175, 2013.
- MOLINA, J. C.; CARREIRA, M. R.; CALIL JÚNIOR, C. **Análise do comportamento mecânico de perfis retangulares de madeira plástica (*wood plastic composite*)**. Departamento de Engenharia de Estruturas, EESC-USP. Pesquisa e Tecnologia – Revista Minerva. 2009.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Ministério da Educação e do Desporto. Curitiba, PR. 4ª edição. Setembro de 2014.
- MÜZEL, S. D. **Estudo da usinagem dos compósitos plástico madeira e madeira plástica**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Campus de Guaratinguetá. Guaratinguetá, SP. 2017.
- NASCIMENTO, M. F.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. **Painéis de partículas de média densidade (MDP) fabricação e caracterização**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2015.
- NAZÁRIO, G. F.; SILVA, V. C.; ROCHA, A. H. S.; RODRIGUES, F. R.; LIMA, F. P. A. **Madeira plástica: Uma revisão conceitual**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 01, n. 01, p. 54-71, out./dez. 2016.
- NEGRÃO, W. H.; SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. **Painéis aglomerados com mistura de partículas de madeiras tropicais**. Revista Ambiente Construído. Porto Alegre, RS. 2014.
- OHARA, W. S. **Estudo das propriedades mecânicas da madeira plástica**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Campus de Guaratinguetá. Guaratinguetá, RJ. 2011.
- OLIVEIRA^a, E. M. R. (Evelyn); OLIVEIRA^b, E. M. R. (Emilly); COSTA R. A. **Madeira plástica**. Instituto Euvaldo Lodi – IEL/BA. 28/05/2013.

PAES, A. L. G.; RIBEIRO, M. V.; MIRACCO, V. B. **Aplicação da madeira plástica na construção civil.** Universidade Santa Cecília - USC. CONIC-SEMESP. 15º Congresso Nacional de Iniciação Científica. 2015.

PARTEL, P. M. P. **Painéis estruturais utilizando madeira roliça de pequeno diâmetro para habitação social: desenvolvimento do produto.** Tese de doutorado. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, SP. 2006.

PAULA, R. M.; COSTA, D. L. **Madeira plástica: Aliando tecnologia e sustentabilidade.** XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, SP. 2008.

PERDOMO, G. **Arquitetura e Interiores.** Disponível em: <<https://www.gparquiteturaeinteriores.com/single-post/2015/10/30/Qual-a-diferen%C3%A7a-entreMDF-MDP-aglomerado-compensado-e-OSB>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

PROTÁSIO, T.P.; JÚNIOR, J.B.G.; MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES, B.M.R. **Correlações entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de diferentes espécies de *eucalyptus*.** Floresta e Ambiente, v. 19, n. 2, p. 123-132, 2012.

REMADE. **Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado.** Revista da Madeira, ano 14, n. 84. Curitiba – PR. 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=630&subject=>>. Acesso em 15/06/2017.

ROCCO LAHR, F. **Produtos derivados da madeira.** Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. EESC – USP. 2008.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 336p. 1989.

SABINO, E. M.; NETTO, P. P. **O uso de madeiras plásticas: características do material e aplicação na Arquitetura de Interiores.** Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Juiz de Fora, MG. 2014.

SANTOS, A. C.; SZÜCS, C. A. **Sistema estrutural de piso em madeira composto de chapas de OSB e vigas I.** Revista Ambiente Construído. Porto Alegre, RN. v. 9, n. 3, p. 37-49, jul./set. 2009.

SANTOS, M. P.; AGUILAR, M. T. P. **Painéis de madeira como vedação vertical em construções.** Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. v.14 - n.15. Belo Horizonte, MG. Dez. 2007.

SETUBAL, V. G. **Avaliação e reciclagem de chapas OSB utilizadas na construção civil.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro UFRRJ. Instituto de Florestas – IF. Seropédica, RJ. Jul. 2009.

SILVA, A. J.; SOARES, E. B.; ARAÚJO, R. F.; MIRANDA, Y. M. S. **Características comparativas da madeira plástica com a madeira convencional.** Revista Científica Vozes dos Vales. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM/ MG, Brasil – Nº 10, Ano V, 10/2016.

SIMBIOSE ASSESSORIA E CONSULTORIA AMBIENTAL. **Estudo e Avaliação de um Sistema Integrado para o Gerenciamento de Resíduos Sólidos do APL de Móveis de Ubá/ MG.** Instituto Euvaldo Lodi. 2013.

SORATTO, D. N.; CUNHA, A. B.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A. C. O.; COSTA, F. R. **Efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP produzidos com *eucalyptus* sp.** Revista Ciência da Madeira (*Braz. J. Wood Sci.*), Pelotas, v. 04, n. 01, p. 46-59, Maio de 2013 ISSN: 2177-6830. 2013.

SOUZA, A. M. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *pinnus* sp com inclusão de telas metálicas.** Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2012.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *pinus elliottii* var. *elliottii* x *pinus caribaea* var. *hondurensis*.** Universidade Federal de São Paulo – USP. Dissertação de mestrado. Piracicaba SP. 2012.

TÔRRES FILHO, A. **Viabilidade técnica e ambiental da utilização de resíduos de madeira para produção de um combustível alternativo.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2005.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil.** Universidade Federal do Paraná – UFP, Setor de Ciências Agrárias. Dissertação. Curitiba, PR. 2008.

TORQUATO, L. P.; IWAKIRI, S.; BONDUELLE, G. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MATOS, J. L. M. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos pelas indústrias brasileiras.** Revista Floresta. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2010.

TRIGUEIRO, A.; BOCARDI, R. **Madeira plástica evita derrubada de árvores para fabricar móveis.** Jornal da Globo, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2012/09/madeira-plastica-evita-derrubada-de-arvores-para-fabricar-moveis.html>>. Acesso em: 14 de abril de 2019.

VALE, L. M. **Efeito do tratamento termomecânico sobre as propriedades de painéis de partículas de média densidade (MDP).** Trabalho de conclusão de curso UNB - Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2016.

VIOLA, N. M.; VIOLA, R. A.; BATTISTELLE, R. A. G.; VALARELLI, I. D. **Caracterização física e mecânica de composto plástico-madeira.** XIX Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru, SP. 2012.

VITAL, B.R.; LEHMANN, W.F.; BOONE, R.S. **How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards.** Forest Products Journal, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.

WANDER, P. R. **Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativas de energias renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do estado do Rio Grande do Sul.** 108f. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre RS. 2001.

WEBER, A. M. **Estudo da biodeterioração em chapas de OSB e MDF causada por fungos.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Trabalho de conclusão de curso. Campo Mourão, Paraná, PR. 2014.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2011.

YAMAJI, F. M. **Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2004.

YOJO, T. **Eucalipto para telhado.** Centro de Tecnologias de Recursos Florestais – IPT. Revista Técnica. Edição 120. Página 15.14/03/2007. Disponível em: <www.revistatechne.com.br>. Acesso em 30/08/2018.

ZENID, G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 2ª. Edição. São Paulo. 2009.

APÊNDICES

Apêndice B – Partes do sistema construtivo onde se aplica alguns materiais

SISTEMA CONSTRUTIVO		Arquitetura	Aplicação de materiais										Condições de aplicação	Requisitos de desempenho	Critérios de desempenho	PROPRIEDADES	Classificação de desempenho	Requisitos gerais																				
W = 20m	N = 10m	T = Típico	Arquitetura	Acabamento	Revestimento	Isolamento	Acústico	Termoisolante	Proteção	Decorativo	Outros	Resistência	Estabilidade	Segurança	Conforto	Outros	Resistência	Estabilidade	Segurança	Conforto	Outros	Resistência	Estabilidade	Segurança	Conforto	Outros	Resistência	Estabilidade	Segurança	Conforto	Outros	Resistência	Estabilidade	Segurança	Conforto	Outros		
Subsistemas	Partes constituintes	1.001	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		1.002	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		1.003	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		1.004	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Fonte: ABRAS

Apêndice C – Roteiro de dados

Roteiro para obtenção de dados nas indústrias moveleiras associadas ao Intersind		
PESQUISA: Uso de painéis fabricados com resíduos de madeira em construção habitacional		
MESTRANDA: Roziani Maria Gomes		
ORIENTADOR: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá		
COORIENTADORES: Leonardo Gonçalves Pedroti e Marcos Oliveira de Paula		
OBJETIVO GERAL		
▶ Investigar painéis de madeira recompostos quanto a aplicação em diferentes partes integrantes do sistema construtivo de habitações. Para responder parte desse objetivo, a pesquisa busca fazer uma caracterização e uma quantificação dos resíduos de madeira gerados nos processos industriais do polo moveleiro da região de Ubá/MG, com vistas a possibilidades de composição dos resíduos com algum tipo de resina para a fabricação de painéis recompostos para uso no setor da construção civil em substituição à madeira convencional.		
1) Atividade comercial da empresa com relação ao uso da madeira? (Priorizar a finalidade para o uso da madeira)		
<input type="checkbox"/> Estofados	<input type="checkbox"/> Sala de jantar	<input type="checkbox"/> Móveis infantis
<input type="checkbox"/> Dormitórios	<input type="checkbox"/> Móveis decorativos	<input type="checkbox"/> Móveis para cozinha
<input type="checkbox"/> Esquadrias	<input type="checkbox"/> Móveis para escritório	<input type="checkbox"/> Outros, especificar
<hr/> <hr/>		
2) Tipos de madeira, e de seus derivados, são mais utilizados nos processos de fabricação dos produtos. [Justificativa do uso por produto fabricado pela empresa]		
<hr/> <hr/>		
3) Alterações dimensionais a que a matéria-prima madeira e seus derivados está sujeita, como torções, empenamentos etc. (Procedimentos adotados em relação ao transporte e armazenamento para evitar tais ocorrências)		
<input type="checkbox"/> Se sim, verificação de quais procedimentos/cuidados são adotados.		
<hr/> <hr/>		
<input type="checkbox"/> Se não, verificação do que é feito com as peças defeituosas.		
<hr/> <hr/> <hr/>		

4) Percentual de uso desses materiais na fabricação dos produtos.

Maciça _____ MDF _____ MDP _____ Outros, especificar _____

5) Quantidade mensal média (m³) de madeira/derivados adquirida para atender a demanda da produção.

6) Da quantidade utilizada, verificação da perda sob a forma de resíduos de madeira/derivados, em volume (m³) e ou em massa (ton).

Cavaco _____ Serragem _____

Cepilho _____ Outros, especificar _____

Verificação se há alguma perda de madeira/derivados que não seja a decorrente dos processos de produção.

Não. Se sim, motivo/frequência/condições _____

7) Destinação dos resíduos de madeira/derivados gerados.

Dispostos ao ambiente Reciclagem (novos produtos)

Queima/Combustível Descarte, para incineração

Produção de carvão Outros, especificar _____

8) Verificação se os resíduos são vendidos (valor) ou doados.

Verificação quanto ao que é feito com os resíduos por quem os obtêm.

ANEXO

Anexo A - Empresas associadas ao Intersind Ubá/MG

Nome	Cidade	Atividade industrial/econômica
Acquarella - Móveis Acquarella Ubaense Ltda.	Ubá	Estofados e peças decorativas
Arte Móveis Ind. LTDA.	Ubá	Dormitório completo e multiuso
Art & Luxo Móveis LTDA.	Ubá	Móveis tubulares
Bettio – Primobile Ind. e Transporte de Móveis LTDA.	Ubá	Dormitórios e salas de jantar
Bianchi Ind. e Comércio de Móveis LTDA.	Ubá	Dormitórios e estofados
BM Tubulares LTDA.	Guidoval	Mesas e cadeiras tubulares
Bom Pastor – Móveis Bom Pastor LTDA.	Visc. Rio Branco	Dormitório completo, estantes e estofados
Carioca Móveis Ind. E Comércio LTDA.	Rodeiro	Dormitório completo
Carolina Móveis Ind. e Comércio LTDA.	Ubá	Dormitório infantil
Casa Nobre Estofados	Ubá	Conjuntos de estofados
Cel Móveis LTDA.	Visc. Rio Branco	Salas de jantar e mesas decorativas
CHF Móveis LTDA.	Rodeiro	Kits - cozinhas, tábua de passar, fruteira, camas e multiuso
Corbelli e Pereira LTDA.	Ubá	Móveis cozinha/banheiro
Cris Moveleira Eireli	Ubá	Salas de jantar
D'Doro Móveis LTDA.	Ubá	Dormitório
Decorare	Ubá	Salas de jantar e decorativos
Dimetal Acessórios de Ubá	Ubá	Acessórios cromados e pintados para móveis
Donaire Estofados Ltda.	Ubá	Estofados
Duetto Planejados Ltda.	Ubá	Móveis planejados e produtos estofados
Enovo Indústria e Transporte de Móveis	Ubá	Estofados
Estofados Leo Decor Indústria e Comércio	São Geraldo	Estofados e poltronas decorativas
Estofados Suprema Ind. e Com. de Móveis LTDA	Ubá	Estofados
Estofados Teixeira LTDA	Rodeiro	Estofados
Estofamix Móveis LTDA	Ubá	Poltronas decorativas
Estofart – Almar Ind. e Comércio de Estofados LTDA	Ubá	Estofados
Europa - Ind. e Comércio de Móveis Europa LTDA	Ubá	Dormitórios
Fratelli Ind. de Estofados	Ubá	Estofados
Glaucelar Móveis LTDA	Ubá	Dormitórios laminados em sucupira
Greice Móveis LTDA	Ubá	Salas de jantar
Helmix Móveis e Estofados Ltda. - EPP	Ubá	Estofados
Helomóveis – Heloísa Teixeira Parma e Cia. Ltda.	Ubá	Cama, guarda-roupa, estofados e rack
IMOP – Ind. de Móveis Paschoalino LTDA	Ubá	Dormitório completo e kits de cozinha
INOVA Indústria e Comércio de Estofados e Cadeiras Ltda.	Ubá	Estofados e poltronas
Itatiaia Móveis S/A	Ubá	Móveis de cozinha (aço e madeira) e fogões
JCM Moveleira LTDA – EPP	Ubá	Rack, estante, escrivaninha, multiuso, mesinha de centro
Josandro Móveis LTDA	Ubá	Dormitório completo
Kaiki Móveis Ind. e Comércio LTDA	Rodeiro	Cômoda, criado, sapateira, armário de cozinha e roupeiro
Kaslianc Móveis Tubulares LTDA	Guidoval	Móveis tubulares
Klaus Estofados e Transporte LTDA	Ubá	Sofás e poltronas
KR Móveis	São Geraldo	Sala de jantar
L J Móveis LTDA	São Geraldo	Sala de jantar
Lanes Móveis Ind. e Comércio LTDA	Rodeiro	Roupeiros e armários de pinos
Lara Móveis LTDA	Ubá	Estofados, cadeiras decorativas e almofadas
Larimar Acessórios	Ubá	Grades de berço e cabideiros para guarda roupas com revestimento de plástico
Leifer – Leifil Móveis LTDA	Rodeiro	Dormitório completo e sala de jantar
Lopas – Comércio, Ind. e Transporte Lopas S. A.	Rodeiro	Dormitórios e sala de jantar
Lufer Ind. e Comércio de Móveis e Estofados LTDA	Ubá	Estofados

Nome	Cidade	Atividade industrial/econômica
Mademarcs Móveis LTDA	Ubá	Estante, rack e mesa para computador
Madmelos Ind. de Móveis de Metal Ltda. – EPP	Guidoval	Móveis tubulares
Maguimóveis – Daniel Paiva de Magalhães e Cia. Ltda.	Piraúba	Estofados
Martins Estofados – Inovare Móveis e Estofados Ltda.	Rodeiro	Estofados
Mavaular Móveis e Transporte LTDA	Ubá	Rack, estante, cômoda, mesa para computador, mesa de canto, aparador e home
Móveis Larimar – Mário Pinheiro de Souza EPP	Ubá	Grades de berços e cabideiros para guardar roupas com revestimento de plástico
Móveis Matos e Lopes LTDA	Visc. Rio Branco	Sala de jantar e móveis decorativos
Móveis Teixeira LTDA	Rodeiro	Móveis tubulares
MC Móveis LTDA	Ubá	Sala de jantar
Minas Office Ind.e Comércio de Móveis LTDA – EPP	Ubá	Móveis para escritório
Minastex Beneficiamento de Madeiras LTDA	Ubá	Peças de madeiras terceirizadas para indústrias moveleiras
Mod Art Estofados	Visc. Rio Branco	Estofamento em móveis e estofados
Moddecor Ind. e Comércio LTDA	Tocantins	Móveis tubulares
Montanha Móveis Ltda.	Ubá	Dormitórios
Montano Estofados – Luiz Carlos Trindade Chirico e Cia. Ltda. ME	Ubá	Estofados
Mozzoni Importadora de Móveis Eireli	Ubá	Cadeiras e banquetas importadas
Nova América – Móveis e Estofados Nova América de Ubá LTDA	Ubá	Estofados e móveis decorativos
Novo Horizonte – Móveis Novo Horizonte LTDA	Ubá	Dormitório completo
Palmeira Ind. e Comércio de Móveis LTDA	Ubá	Armário de cozinha, berço, cômoda, criado, dormitório
Paolimóveis Estofados Eireli	Rodeiro	Estofados, colchões e espumas
Paropas – Ind. e Comércio Copas S/A	Ubá	Colchões, estofados e espumas
Plataforma – Móveis Plataforma LTDA	Guiricema	Móveis de madeira
Pollo Decor – Polo Ind. e Transporte de Móveis LTDA	Ubá	Home, dormitório, cômoda, criado e birô
Primus Design Estofados Ltda.	Ubá	Móveis de madeira
Prostylos Estofados Eireli	Ubá	Estofados
Randomóveis LTDA	São Geraldo	Estofados, colchões e sala de jantar
Rufato – Movelaria Rufato LTDA	Rodeiro	Dormitório completo e sala de jantar
Sala Estofados LTDA	Ubá	Estofados
Sallete Ind. e Comércio de Móveis LTDA	Ubá	Camas, cômodas, criados e roupeiros
Sayerlack – Renner Sayerlack S. A.	Ubá	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
Sier Móveis LTDA	Ubá	Sala de jantar, home e complementos
Silmag Ind. e Comércio de Móveis LTDA	Ubá	Estofados e cadeiras decorativas
Simbiose Ambiental – Lessa Assessoria e Consultoria Ambiental Ltda.	Cataguases	Prestação de serviços de consultoria ambiental e segurança do trabalho
Sivolc Móveis e Complementos LTDA	Ubá	Portas residenciais, cadeiras, tampos e portas de cozinha
Sol Móveis Solução LTDA	Visc. Rio Branco	Berço, roupeiros, cômodas, cadeiras, mesas e complementos
Soma Móveis LTDA	Tocantins	Mesas e cadeiras tubulares
TCIL Móveis LTDA	Ubá	Dormitório completo
Toki Móveis – Tok Ind. e Comércio de Móveis Ltda.	Tocantins	Roupeiros em sucupira e estofados
Tradição – RM Movelaria Ind. e Comércio LTDA	Ubá	Cadeiras decorativas e sala de jantar
Uniar Ind. de Estofados LTDA – ME	Ubá	Cadeiras, estofados e poltronas
Unierre Móveis LTDA	Ubá	Camas e modulados
Valdemóveis Ind. e Comércio de Móveis LTDA	Ubá	Rack, estante, escrivaninha
Valverde Ind. e Transporte LTDA	Ubá	Dormitório completo
Vip Estofados Ind. e Comércio Eireli – MG	Ubá	Estofados

Fonte: Intersind (2019) [Disponível em: <http://www.intersind.com.br/empresas.php?letra=x>. Acesso: maio.2019]