Organizadoras
AKEMI INO
LUCIA SHIMBO

PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA

Blucher

Akemi Ino
Lucia Shimbo
Organizadoras

PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA

Projetar e construir com madeira

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher
Editores Eduardo Blücher e Jonatas Eliakim
Coordenação editorial Andressa Lira
Produção editorial Alessandra de Proença
Preparação de texto Amanda Fabbro
Diagramação Marcio Freitas
Revisão de texto Helena Miranda
Capa Laércio Flenic
Imagem da capa Tatiana de Oliveira Chiletto

(*) As imagens utilizadas neste livro não caracterizam preferência por marca ou fabricante. Foram utilizadas devido à sua clareza e disponibilidade somente para ilustrar didaticamente os conceitos mencionados.

(**) As imagens de equipamentos da marca Zaccaria estão sendo usadas com o consentimento da empresa aos autores.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil
Tel.: 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed. do Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa, Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Projetar e construir com madeira / Akemi Ino, Lucia Shimbo organizadoras. – São Paulo : Blucher, 2024.
184 p.; il.

Bibliografia
ISBN 978-85-212-2194-4

1. Construções de madeira 2. Habitações – Projetos e construção 3. Madeiras de construção I. Ino, Akemi II. Shimbo, Lucia

23-4339 CDD 694

Índices para catálogo sistemático:
1. Construção de madeira

CAPÍTULO 3
Produtos de madeira para construção

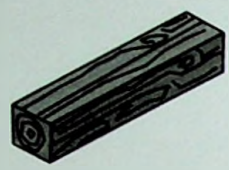
Tatiana de Oliveira Chiletto
Simone Fernandes Tavares
Beatriz Aparecida Corrêa Souza
Akemi Ino

A busca pela otimização no uso da matéria-prima e a superação de suas limitações naturais sempre suscitou a pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos. No caso da madeira, podemos citar, ao menos, quatro características impulsionadoras desse processo: 1) a busca pela uniformização e melhoramento de suas propriedades físicas e mecânicas, já que elas variam entre as diferentes espécies, entre árvores da mesma espécie e entre partes da mesma árvore; 2) a superação dos tamanhos e das formas de produtos de madeira, como a produção de peças esbeltas maiores que a altura da tora ou a fabricação de painéis; 3) a possibilidade do uso de madeiras antes desprezadas, tidas como madeiras de segunda categoria, como aquelas com presença de nós ou defeitos, impróprias para o uso enquanto madeira serrada; e 4) o uso de rejeitos e resíduos de um processo produtivo, seja de resíduos de construção/corte e serragem ou de processos de fabricação industrial, como matéria-prima de outro produto. Assim, houve o desenvolvimento de uma ampla gama de produtos de madeira, seja a madeira sólida ou os materiais à base de madeira, com diferentes níveis de industrialização e de processamento.

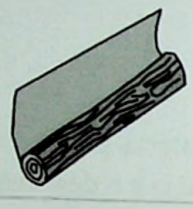
Os elementos utilizados na produção de produtos à base de madeira para a construção possuem uma variedade de tamanhos e formas. O tamanho, a geometria e a organização desses elementos ditam, em grande parte, o produto fabricado, o seu desempenho e as suas possibilidades de uso, conforme apresentado na Figura 3.1.

Este capítulo oferece uma visão geral dos principais produtos de madeira atualmente utilizados na construção civil nacional e internacional e as suas características mais importantes. A fim de organizar o conteúdo, optou-se por subdividir os produtos em três grandes categorias: a) a madeira maciça, roliça e serrada; b) a madeira engenheirada, à base de madeira maciça ou de lâminas, tiras ou lascas; e c) os derivados de madeira produzidos com diferentes elementos.

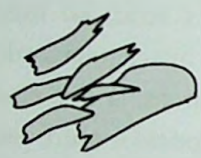
Toras → log home



Madeira Serrada → MLC, CLT, DLT, NLT, DCLT



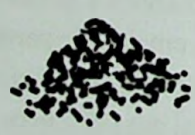
Lâminas → Compensado LVL



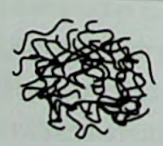
Tiras → OSB

Lascas → Chip Board

Flocos → Wafer Board



Partículas → Chapa de Partículas



Fibras → Chapa dura, Eucatex, MDF, HDF

FIGURA 3.1
Elementos utilizados para produtos de madeira e produtos à base de madeira.
Fonte: adaptada de Stark, Cai e Carll (2010).
Desenho: Mezo (2022).

3.1 Madeira maciça

Como produtos de madeira maciça são incluídas a madeira roliça e a madeira serrada. Para a sua produção, comparando aos produtos de madeira engenheirada, é realizado um processo de beneficiamento mais simples, em geral resumido em corte, secagem, tratamento preservativo e usinagem, como demonstrado pela Figura 3.2. O tratamento preservativo pode constar nesta etapa ou não, conforme apresentado e discutido na seção 2.4.2.3 deste livro.

A madeira maciça seca – serrada ou roliça – beneficiada e tratada decorrente desse processo resulta em uma ampla gama de produtos utilizados na construção de diferentes componentes e sistemas construtivos, com função estrutural ou não. A madeira serrada é, inclusive, a matéria-prima de um dos segmentos dos produtos denominados madeira engenheirada.

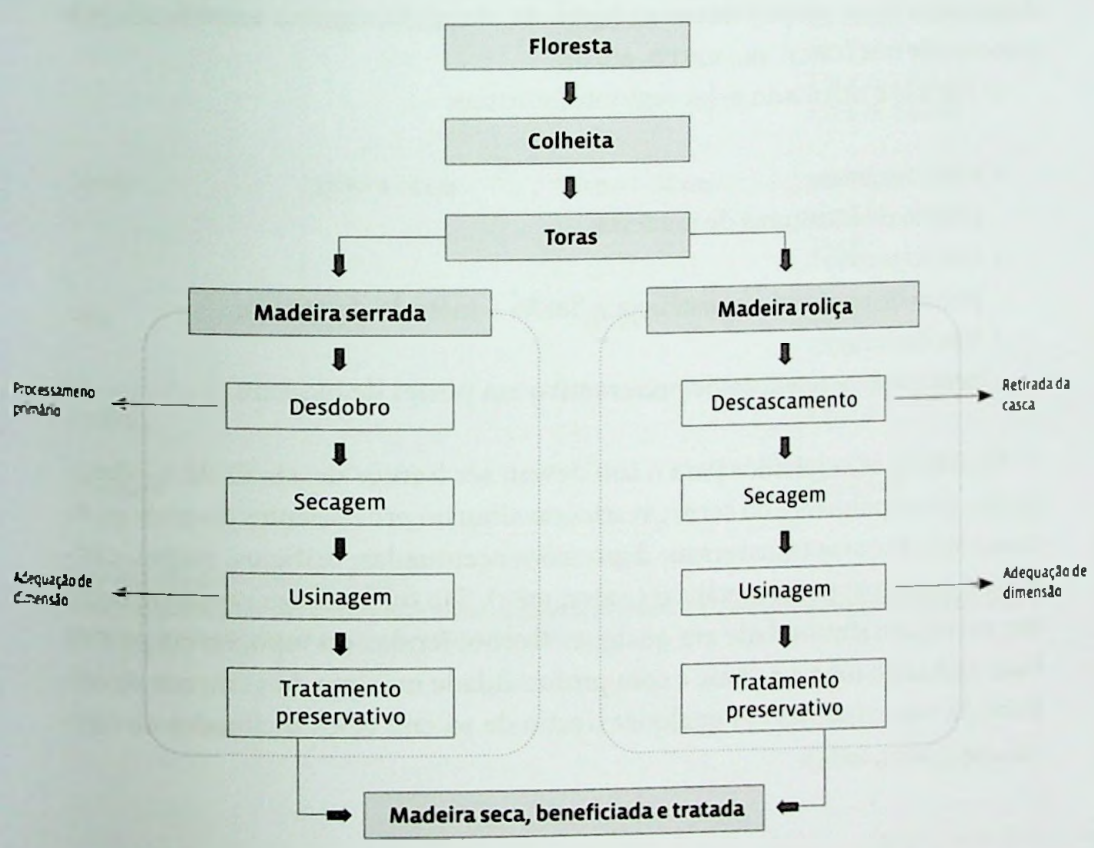


FIGURA 3.2
Processo produtivo da madeira serrada e da madeira roliça.
Fonte: adaptada de Yuba (2005). Desenho: Mezo (2022).

3.1.1 Madeira roliça

A madeira roliça é o produto de madeira com o menor grau de processamento, em geral, aplicada após o descascamento da tora. Pode ser utilizada para sistemas estruturais, como as chamadas *log homes* (detalhadas na seção 4.4.3.1), para a execução de estruturas compostas, como o sistema pilar-viga, assim como postes de distribuição de energia elétrica.

Em geral, estruturas executadas com madeira roliça são eficientes sob dois pontos: garantem o máximo aproveitamento da tora com o mínimo de geração de resíduos; e potencializam as características mecânicas da peça ao utilizar sua máxima dimensão transversal, mantendo intactas as estruturas das fibras. A desvantagem de seu uso, por sua vez, diz respeito à sua própria conicidade (o formato e a variação do diâmetro da peça ao longo do seu comprimento) e a irregularidade natural do fuste, o que dificulta processos de acabamentos, principalmente a fim de atender requisitos habitacionais. Também apresenta diferença de resistência ao momento fletor em sua dimensão longitudinal, com diminuição de 1 a 3% por metro ao longo da altura, fenômeno amplificado pela presença de nós (CALIL JR.; BRITO, 2010).

O seu uso é orientado pelas seguintes normas:

- NBR 7190:2022
  projeto de estruturas de madeira;
- NBR 6231:1980
  postes de madeira – resistência à flexão – método de ensaio;
- NBR 6232:1973
  penetração e retenção de preservativo em postes de madeira.

Os roliços selecionados para o uso devem ser isentos de: sinais de apodrecimento, principalmente no cerne; avarias no alburno provenientes do corte ou do transporte; fraturas transversais; depressões acentuadas; orifícios, pregos, cavilhas ou quaisquer peças metálicas (ABNT, 1984). São tolerados os seguintes defeitos: curvatura; sinuosidade em qualquer trecho; fendas no topo, no corpo e na base; rachas no topo e na base e com profundidade máxima de 5 cm; nós ou orifícios de nós existentes em qualquer trecho de 30 cm; veios inclinados ou espiralados (ABNT, 1984).

TABELA 3.1
NOMENCLATURA E SEÇÃO DAS PEÇAS DE MADEIRA SERRADA UTILIZADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO*

Nomenclatura	espessura (e)	largura (l)	Dimensões comerciais (cm)
Bloco	Variável	Variável	Variável
Pranchão	> 7 cm	> 20 cm	7,5 x 20; 7,5 x 25; 7,5 x 30 10 x 20; 10 x 25; 10 x 30 15 x 20; 15 x 25; 15 x 30
Prancha	7 cm > e < 4 cm	30 cm > l < 11 cm	4 x 20; 4 x 30
Viga	> 4 cm	8 cm > l < 11 cm	6 x 12; 6 x 16
Caibro	4 cm < e < 8 cm	5 cm < l < 8 cm	5 x 6; 5 x 8
Tábua	1 cm < e < 4 cm	> 10 cm	2,5 x 10; 2,5 x 15; 2,5 x 20; 2,5 x 25; 2,5 x 30 1,25 x 15; 1,25 x 20; 1,25 x 25; 1,25 x 30
Sarrafo	2 cm < e < 4 cm	5 cm < l < 10 cm	3,8 x 7,5 2,2 x 7,5 2,5 x 5
Ripa	< 2 cm	< 10 cm	1,2 x 5 1,5 x 5
Cordão	–	–	1,5 x 1,5
Pontalete	–	–	7,5 x 7,5 cm

Fonte: adaptada de Ino (2009), Zenid (2009).

*A NBR 7203 (ABNT, 1982) indica as dimensões nacionais da madeira serrada, inclusive estabelecendo sua seção transversal. No entanto, existe uma variação regional dessas dimensões.

3.1.2 Madeira serrada

Madeira serrada, ou *sawn wood*, de acordo com a NBR 16884-1 (ABNT, 2020, p. 8) é a "madeira que resulta diretamente do desdobro de toras ou toretes, constituída de peças cortadas longitudinalmente por meio de serra, independentemente de suas dimensões, com seção retangular ou quadrada". A dimensão da seção de cada peça resultado do corte é determinada por norma, a qual estabelece a largura e espessura mínima de cada peça. Em geral, seu comprimento decorre do comprimento da tora e, portanto, da altura do tronco da árvore processada. As principais seções obtidas do processo de desdobro são denominadas de blocos, pranchões, prancha, viga, vigota, caibro, tábua, sarrafo e ripa. A Tabela 3.1 apresenta as dimensões comerciais dessas peças as quais, quando empregadas em projetos específicos, podem ser novamente cortadas.

É importante lembrar que as peças de madeira serrada resultam do processo de corte, conforme já apresentado no item 2.4.2.1 Desdobro da tora, seguindo um plano de aproveitamento da tora, assim como em função do uso final da peça. No entanto, muitas vezes o uso de madeira serrada é associado à geração de grande quantidade de rejeitos. Estima-se que de 60 a 70% da peça original se transforme em resíduo ao longo do processo de beneficiamento da madeira (CALIL JR.; BRITO, 2010). Essa perda é tão menor quanto maior o diâmetro da peça a ser serrada. Por exemplo, toras com diâmetro de 16 cm possuem um rendimento entre 35 a 50%, enquanto toras com diâmetro de 35 cm, de 55 a 65% (IBF, em rede[1]). A diferença entre os diâmetros das duas extremidades da peça também influencia no rendimento da peça, já que o plano de corte é determinado pelo menor diâmetro, assim como a presença de tortuosidade e curvamentos.

Há, por sua vez, diferentes estudos e proposições voltadas à otimização da cadeia produtiva da madeira serrada. Entre as iniciativas estão o melhoramento genético das sementes, o melhor controle dos processos de plantio, de manejo florestal e de colheita e, principalmente, a articulação entre as diferentes indústrias envolvidas no processo com o fim de transformar os rejeitos de uma etapa em matéria-prima de outros produtos (ver os trabalhos de INO, 1992; YUBA, 2005).

A madeira serrada é a matéria-prima para os mais diferentes produtos de madeira, por exemplo, sistemas estruturais, painéis de vedação, esquadrias (batentes, janelas, portas maciças), acabamentos (assoalhos, forros, rodapés, lambris, guarda-corpos), escadas, e os diferentes itens de movelaria. É, em casos específicos, matéria-prima para a produção da madeira engenheirada, como veremos na seção 3.2.

[1] Informações retiradas do site do Instituto Brasileiro de Florestas, disponível em: https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/madeira-serrada.

A norma que especifica a terminologia e os requisitos gerais necessários à madeira serrada é a NBR 16864:2020 – Madeira serrada, partes 1 e 2, e a NBR 7203:1982 – Madeira serrada e beneficiada.

3.2 Madeira engenheirada

A madeira engenheirada faz referência ao *engineered wood product* (EWP), produtos pré-fabricados de madeira serrada de pequenas dimensões. De acordo com Aflalo (2020), trata-se de componentes construtivos compostos por pequenos segmentos, arranjados de modo a otimizar o comportamento da madeira, alcançando um nível de desempenho superior ao do produto natural. A dimensão e o modo como esses segmentos são arranjados resultam em diferentes produtos, a serem empregados como elementos estruturais variados.

Entre as vantagens de seu uso estão: as propriedades físicas e mecânicas previsíveis, quando comparados aos produtos da madeira serrada; a estabilidade dimensional; a possibilidade de manufatura de componentes de grandes dimensões que agregam a resistência; e a relativa leveza, próprios do material (PASSARELLI, 2013; CHILETTO, 2021). Em geral, o seu uso implica em um método construtivo previamente determinado, baseado no próprio processo de produção do componente, embasado por intensivos processos de pré-fabricação.

Para a produção da madeira engenheirada, tem sido dada preferência à madeira de plantios florestais, especialmente o eucalipto e o pinus, no Brasil, pelas seguintes características: rapidez de crescimento; leveza (média densidade); disponibilidade; e trabalhabilidade. Cabe dizer que o plantio de florestas de pinus e eucalipto no Brasil já foi objeto de muitas discussões, principalmente por serem espécies exóticas, sem interação com as demais espécies do país, o que fez com que suas plantações recebessem a denominação desertos verdes. Estudos mais avançados, no entanto, apontam que o problema está no modelo de cultivo com base em monocultura extensiva, o que não difere de outros tipos de cultivos praticados. Como solução, em especial a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), segue pesquisando novas formas de produção e de ocupação da terra, como o sistema lavoura-pecuária-floresta, do qual o sistema agroflorestal é um exemplo. Nessa mesma direção, estudos de plantios florestais com espécies nativas de rápido crescimento têm sido incentivados, em especial para uso na construção civil.

Na sequência são apresentados os produtos de madeira engenheirada e suas principais aplicações, divididos em duas grandes categorias: madeira engenheirada à base de madeira serrada e madeira engenheirada à base de lâminas, tiras e lascas.

3.2.1 À base de madeira serrada

O uso da madeira serrada para a produção de madeira engenheirada propicia a construção tanto de elementos estruturais esbeltos e lineares, como pilares e vigas, quanto de placas estruturais maciças empregadas como paredes e lajes. O que difere cada um dos produtos é como as peças de madeira serrada são organizadas e unidas.

3.2.1.1 Madeira lamelada colada (MLC)

A madeira lamelada colada (MLC), denominada internacionalmente de *glued laminated timber* (GLT ou Glulam), é um produto de madeira engenheirada com seções transversais lineares concebidas a partir da colagem de duas ou mais lamelas de madeira maciça. Na configuração da MLC, como apresentada na Figura 3.3, as fibras da madeira estão dispostas na mesma direção. Com ela, são projetados elementos lineares empregados como vigas, arcos, pórticos e pilares, ou seja, elementos esbeltos, inclusive capazes de vencer grandes vãos.

Peças de MLC podem ser fabricadas em praticamente qualquer comprimento e seção, sendo o comprimento limitado pelo espaço disponível na obra, pela mesa de colagem do fabricante e/ou pelas possibilidades de transporte. Também é possível

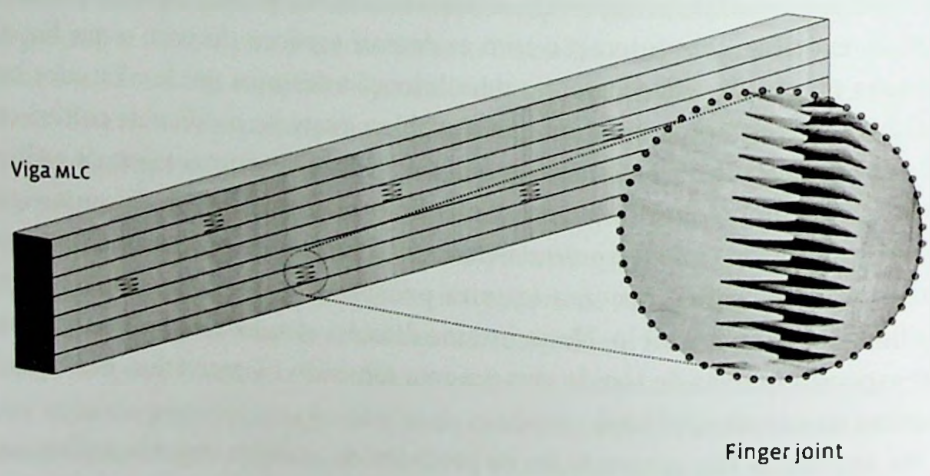


FIGURA 3.3 Configuração da MLC.
Fonte: adaptada de Think Wood (s/d). Desenho: Mezo (2022).

adicionar curvatura em até dois eixos de uma mesma peça, o que amplia a liberdade formal em seu uso. Outra vantagem do produto é a possibilidade de utilização de diversas classificações de madeira para compor uma mesma peça, localizando aquelas de maior resistência onde serão aplicados os maiores esforços, por isso, potencializando o uso da matéria-prima (STARK; CAI; CARLL, 2010).

A produção de MLC exige o uso de colas especiais, ainda não produzidas no Brasil, e possuem, em geral, custo elevado, como *phenol-resorcinol formaldehyde* (PRF); *emulsion polymer isocyanate* (EPI); *melamine formaldehyde* (MF); e *polyurethane* (PUR). Os adesivos podem variar de acordo com o fabricante (KARACABEYLI; GAGNON, 2019). A quantidade de adesivo e os demais parâmetros de colagem devem seguir as recomendações dos fabricantes do adesivo. A norma nacional recomenda a comprovação experimental tanto para as emendas em *finger-joints* como para os elementos estruturais fabricados (ABNT, 2022a).

Além disso, para que as peças atinjam o desempenho adequado, se faz necessário o uso de prensas. No que se refere à madeira, são empregadas aquelas de densidade entre 330kg/m3 e 750kg/m3, no Brasil representadas por pinus e eucalipto, respectivamente (AFLALO, 2020).

São duas as normas que orientam a produção e o uso da MLC: a EN 1194: *Timber structures – glued laminated timber – strength classes and determination of characteristic values*; e a ABNT NBR 7190: "Projeto de estruturas de madeira".

A NBR 7190-6 orienta o dimensionamento de peças estruturais em MLC. Para pré-dimensionamento das peças fletidas com seção constante, a largura mínima da seção transversal deve ser 1/7 da altura da peça. Já nas peças com seção variável, as extremidades de menor altura não devem ser inferiores a L/30 e a inclinação não deve ultrapassar 5° (ABNT, 2022a).

3.2.1.2 Madeira lamelada pregada (NLT, na sigla em inglês)

A madeira lamelada pregada, denominada em inglês como *nail-laminated timber* (NLT), é feita pela justaposição de peças de madeira serrada, ou seja, lamelas em pé, mantendo suas fibras alinhadas, unidas por meio de pregos ou parafusos, conforme ilustrada na Figura 3.4. Compõe um elemento estrutural sólido utilizado como vigas ou painéis de parede, piso ou laje, podendo conformar uma estrutura reta ou curvilínea, plana ou irregular (BINATIONAL SOFTWOOD LUMBER COUNCIL, 2017).

A MLP pode ser feito com madeira serrada de origem local e é relativamente fácil de produzir, demandando pouca infraestrutura, diferentemente de quando se usa a cola. Seu uso pode ser associado a chapas de OSB, o que melhora o isolamento térmico e acústico do produto, além de melhorar sua resistência aos esforços de cisalhamento (BSLC, 2017).

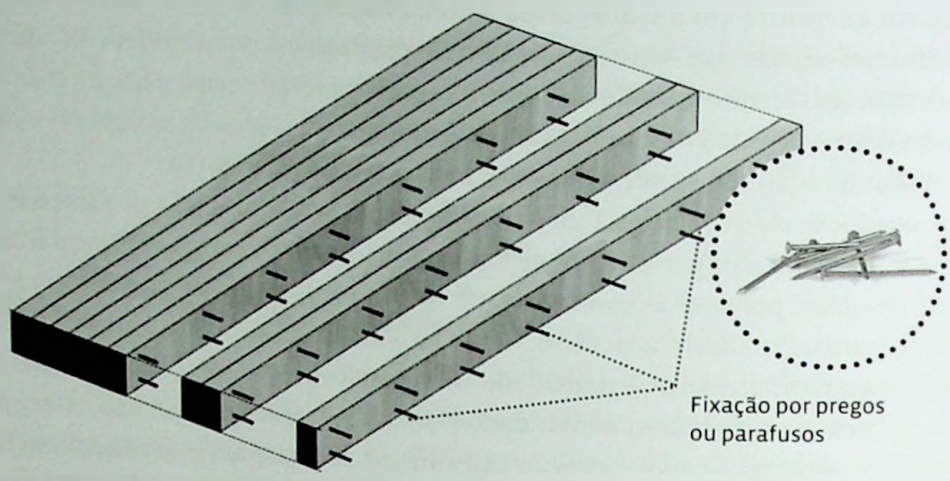


FIGURA 3.4 Configuração do NLT.
Fonte: adaptada de Think Wood (s/d). Desenho: Mezo (2022).

A produção de NLT é orientada pela norma canadense CSA O86-14: *Engineering design in wood*, publicada pelo Government of British Columbia's Forestry Innovation Investment.

3.2.1.3 Madeira lamelada cavilhada (DLT, na sigla em inglês)

A madeira lamelada cavilhada, conhecida em inglês como *dowel-laminated timber* (DLT), apresentada na Figura 3.5, consiste na união de peças de madeira serrada (lamelas) justapostas com as fibras alinhadas em uma mesma direção, utilizando cavilhas. Para que o conjunto adquira estabilidade e seja realizada uma conexão mecânica aceitável entre as lamelas e a cavilha, são empregadas madeiras de densidade e umidade diferentes. As peças a serem unidas devem ter capacidade estrutural, geralmente *softwoods*, secas a um teor de umidade de 12-15%. Já as cavilhas, em geral produzidas a partir de *hardwoods*, são secas até atingir um teor de umidade entre 4-8%. Ao combinar ambos os elementos, as cavilhas expandem, absorvendo umidade do ambiente e promovendo o equilíbrio higroscópico do sistema, garantindo a fricção entre as peças (AFLALO, 2020).

As DLTs não utilizam adesivos, pregos ou parafusos, e por isso seu uso não é adequado em ambientes nos quais há a variação excessiva de temperatura e umidade, pois o fenômeno de contração e expansão da madeira pode ocasionar a

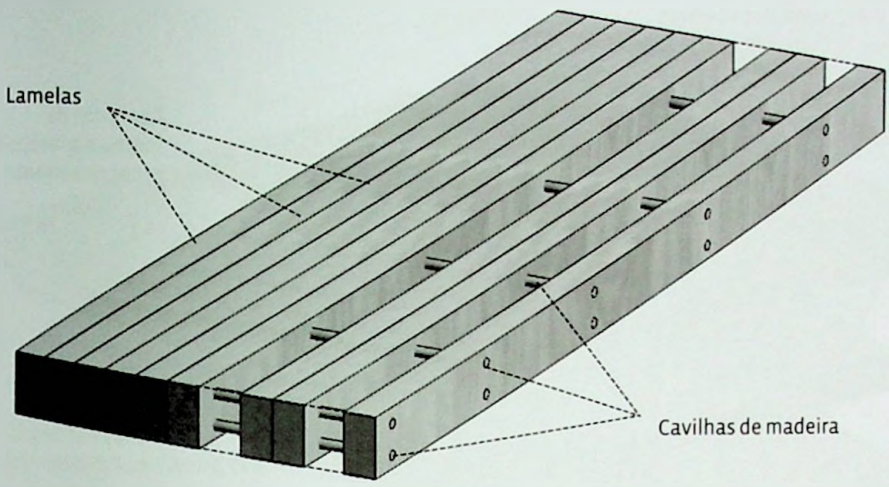


FIGURA 3.5 Configuração da DLT.
Fonte: adaptada de Think Wood (s/d). Desenho: Mezo (2022).

separação das peças. Formam painéis maciços empregados, principalmente, como lajes e paredes estruturais.

As normas técnicas que orientam a produção e uso de DLTs são a EN 1995-1-1 (2004): Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings e a EN 1991-1-1 (2002): Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings. Trata-se de um produto que ainda não é produzido industrialmente no Brasil, encontrando-se em fase de pesquisas (PEREIRA, 2019).

3.2.1.4 Madeira lamelada colada cruzada (CLT, na sigla em inglês)

A *cross laminated timber* (CLT), também conhecida como madeira lamelada colada cruzada (MLCC) em português, é um produto composto por um número ímpar de camadas de madeira, de 3 a 9 lâminas, dispostas ortogonalmente, e unidas por adesivo estrutural. Cada camada é formada por tábuas (lamelas) dispostas lado a lado compondo, assim, grandes painéis (BRANDNER *et al.*, 2016). Em configurações especiais, camadas consecutivas podem ser colocadas na mesma direção, dando uma camada dupla, a fim de obter capacidades estruturais específicas (GREEN, 2011).

A CLT se diferencia da MLC pela orientação das fibras nas camadas de madeira, conforme ilustra a Figura 3.6. Tais fibras, dispostas de forma alternada, melhoram

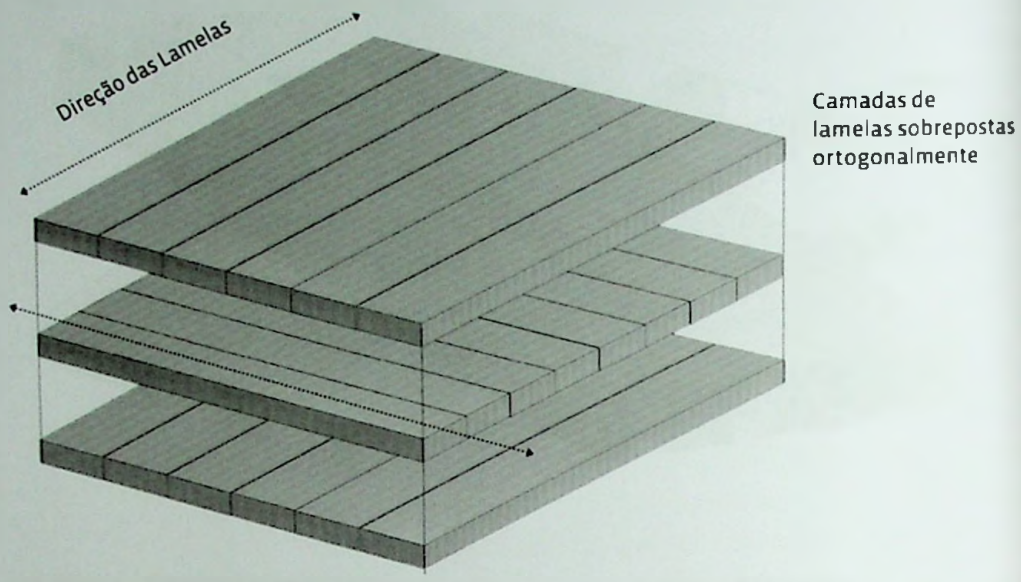


FIGURA 3.6 Configuração da CLT (ou MLCC).
Fonte: adaptada de Think Wood (s/d). Desenho: Mezo (2022).

a estabilidade dimensional dos elementos produzidos. Nos produtos CLT típicos, as tábuas das camadas externas correspondem à maior direção de resistência do painel, enquanto aquelas dispostas perpendicularmente às camadas externas, correspondem à menor direção de resistência do painel.

Diferentemente de outros produtos madeireiros, que são projetados enquanto pequenos elementos ou componentes em edifício, a CLT pode ser utilizada como estrutura primária de edifícios de porte médio e alto, o que torna a CLT uma alternativa adequada à substituição o concreto e o aço em muitos projetos de construção (CHEN; PIEROBON; GANGULY, 2019).

As normas técnicas que orientam a produção de CLT são, no Canadá e nos EUA, a ANSI/APA PRG 320: *Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber* e a CSA O86 Standard: *Engineering Design in Wood*, enquanto na Europa a norma predominante é a EN 1995-1-1 (2004): *Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings* (GREEN, 2011). No Brasil, a NBR 7190-7 (ABNT, 2022b) normatiza produtos CLT.

Como adesivos, podem ser utilizados *phenol-resorcinol formaldehyde* (PRF); *emulsion polymer isocyanate* (EPI); *melamine formaldehyde* (MF); *polyurethane* (PUR). Os adesivos podem variar de acordo com o fabricante (KARACABEYLI; GAGNON, 2019).

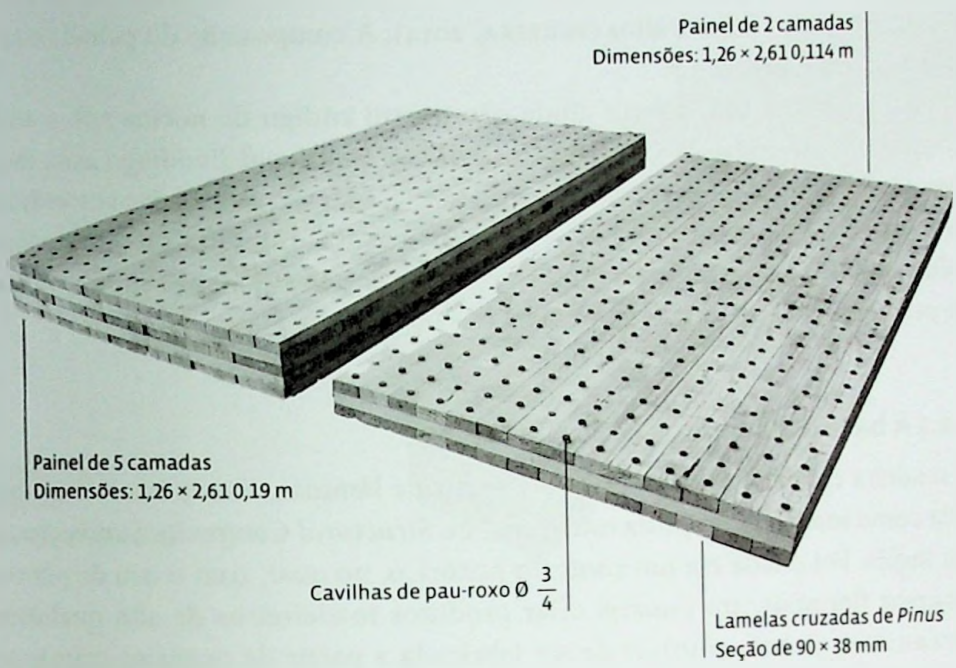


FIGURA 3.7 Painel DCLT.
Fonte: PEREIRA, 2019, p.89.

Cabe ressaltar que o tamanho dos painéis de CLT muda conforme o fornecedor. No Brasil, eles variam de 2,4 a 3 m de largura, até 12 m de comprimento, e até 0,3 m de espessura (CROSSLAM[2], [n. p.]).

3.2.1.5 Madeira lamelada cavilhada cruzada (DCLT, na sigla em inglês)

Semelhante à CLT, o *dowel cross-laminated timber* (DCLT) é um painel estrutural composto por camadas formadas por lamelas justapostas (tábuas ou lamelas deitadas), porém unidas ortogonalmente por meio de cavilhas ao invés de adesivos. Como não é utilizado qualquer tipo de adesivo químico na constituição do painel, deve-se atingir uma conexão confiável entre os diferentes componentes do painel unicamente por meio da superfície de contato entre a madeira serrada e as cavilhas (PASSARELLI; INO, 2013), como acontece com a madeira lamelada cavilhada (*dowel-laminated timber*).

Uma das vantagens do DCLT, em relação à CLT, está no custo do investimento para iniciar a produção, uma vez que, para o painel cavilhado, não são necessárias prensas hidráulicas de grandes dimensões e nem o uso de adesivos estrutu-

[2] Disponível em: https://crosslam.com.br/

rais que possuem valores altos (PEREIRA, 2014). A composição do painel DCLT é apresentada na Figura 3.7.

Assim como a DLT, a DCLT ainda não possui código de norma sob o atual Código Internacional de Construção Civil (*International Building Code*, IBC). Dessa forma, o uso de DLT e DCLT exige aprovação, caso a caso, das autoridades com jurisdição (WAUGH THISTLETON ARCHITECTS, 2018). O DCLT com cavilhas soldadas ainda não é produzido industrialmente no Brasil, e se encontra em fase de pesquisas (PEREIRA, 2019).

3.2.2 À base de lâminas e tiras

A madeira engenheirada produzida a partir de lâminas, tiras e lascas é conhecida como madeira composta estrutural, ou *Structural Composite Lumber* (SCL) em inglês. Foi criada em um contexto histórico, no qual, com o uso de poucos recursos florestais, era possível criar produtos madeireiros de alta qualidade (STARK; CAI; CARLL, 2010). Pode ser fabricada a partir de matérias-primas ou espécies subutilizadas e que não são comumente manipuladas para aplicações estruturais (APA, 2019), ou a partir de árvores jovens, de pequenos diâmetros, resultando em peças de grandes seções.

Diferentemente da madeira engenheirada produzida com madeira serrada, para a produção de SCL utilizam-se lâminas, tiras e lascas de madeira seca unidas com adesivo resistente à umidade, sempre mantendo as suas fibras alinhadas em uma mesma direção, formando blocos de materiais, os quais serão, posteriormente, serrados em tamanhos especificados (APA, 2019). A SCL é considerado um produto de madeira sólida, altamente previsível, de engenharia uniforme e praticamente livre de deformações e rachaduras.

3.2.2.1 *Laminated Veneer Lumber* (LVL)

A madeira laminada[3] colada, ou *laminated veneer lumber* (LVL) em inglês, é um painel estrutural e unidirecional fabricado a partir de finas lâminas de madeira (que variam de 2,5mm a 4,8mm de espessura) unidas por adesivo à prova d'água, cujas fibras encontram-se alinhadas, dispostas paralelamente ao sentido longitudinal da peça produzida (GREEN, 2011). Essa configuração confere propriedades ortotrópicas (diferentes propriedades mecânicas nos diferentes eixos da peça), de forma semelhante às propriedades da madeira serrada, ao invés das proprie-

[3] Especial atenção deve ser dada a esta palavra. Lamelada é diferente de laminada e a distinção está na dimensão das peças.

FIGURA 3.8
Viga LVL.
Fonte: Acervo Akemi Ino.

dades isotrópicas (as mesmas propriedades mecânicas em cada direção da peça), como acontece com a chapa de madeira compensada. Um exemplo de viga LVL é apresentado na Figura 3.8.

A vantagem da LVL em relação à madeira serrada é a sua menor propensão a empenamento ou encolhimento (WOODSOLUTIONS, em rede[4]). É ideal para funções estruturais pelo seu alto módulo de elasticidade e sua alta resistência, tornando-a adequada para situações de alta tensão (DEPLAZES, 2005). Nesse painel, as lâminas podem ser coladas utilizando *phenol formaldehyde resin* (PF) e *modified melamine formaldehyde resin* (MUF), no qual a proporção de resina corresponde a 10-20% do produto (STARK; CAI; CARLL, 2010). Peças de LVL são utilizadas, em geral, na fabricação de vigas e na composição de vigas compostas "I", especificamente as suas mesas (SHIGUE, 2018).

Como adesivos, são comumente empregados o fenol-formaldeído (PF), e o fenol-resorcinol-formaldeído (PRF), podendo variar a depender do fabricante (GREEN, 2011).

Semelhante à CLT, os painéis de LVL são limitados em suas dimensões apenas pelo processo de fabricação e transporte, embora a maioria dos fabricantes, em geral, faça painéis com 2,50 metros de largura (KAUFMANN *et al.*, 2018).

4 Informações disponíveis no seguinte endereço: https://www.woodsolutions.com.au/wood-species/wood-products/structural-composite-lumber-scl.

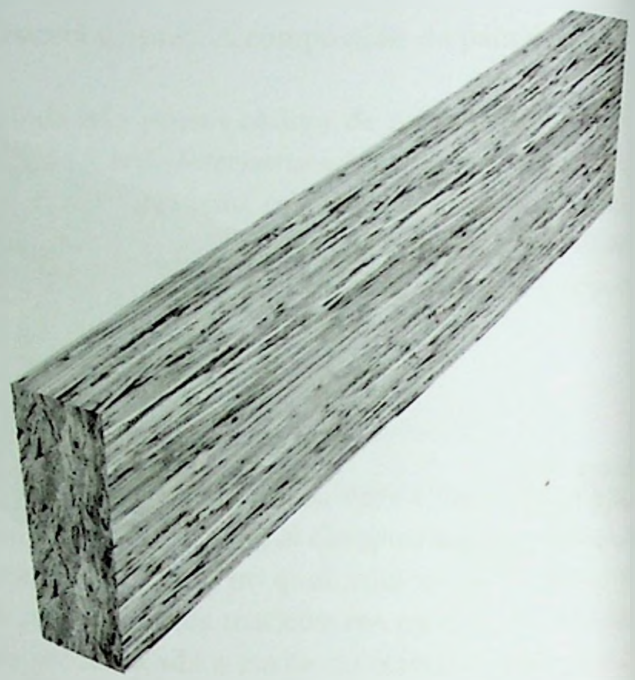


FIGURA 3.9
Viga PSL.
Fonte: Acervo Akemi Ino.

3.2.2.2 *Parallel Strand Lumber* (PSL)

O *parallel strand lumber* (PSL) é definido como um composto estrutural produzido por tiras recortadas das lâminas pré-produzidas de madeira, cujas fibras estão orientadas paralelamente ao sentido longitudinal da peça. Um exemplo de viga PSL é apresentado na Figura 3.9. As tiras são revestidas com um adesivo estrutural à prova d'água, alinhadas e unidas em prensa contínua (STARK; CAI; CARLL, 2010). Assim como a LVL e a MLC, dada a sua resistência à flexão, esse produto é usado para aplicações de vigas, cabeçotes e/ou colunas, sendo adequado para aplicações em ambientes internos e externos (APA, 2019).

Como adesivo, em geral, é utilizado o fenol-formaldeído (PF) e o fenol-resorcinol formaldeído (PRF), podendo variar a depender do fabricante (STARK; CAI; CARLL, 2010).

3.3 Derivados

Os derivados de madeira também são tipos de madeiras compostas industrializadas, disponíveis no mercado anteriormente às madeiras engenheiradas. Também podem ser estruturais ou não, aplicadas em ambientes úmidos ou secos, compondo sistemas construtivos diversificados. São produzidos a partir de lâminas, tiras, partículas e fibras de madeira.

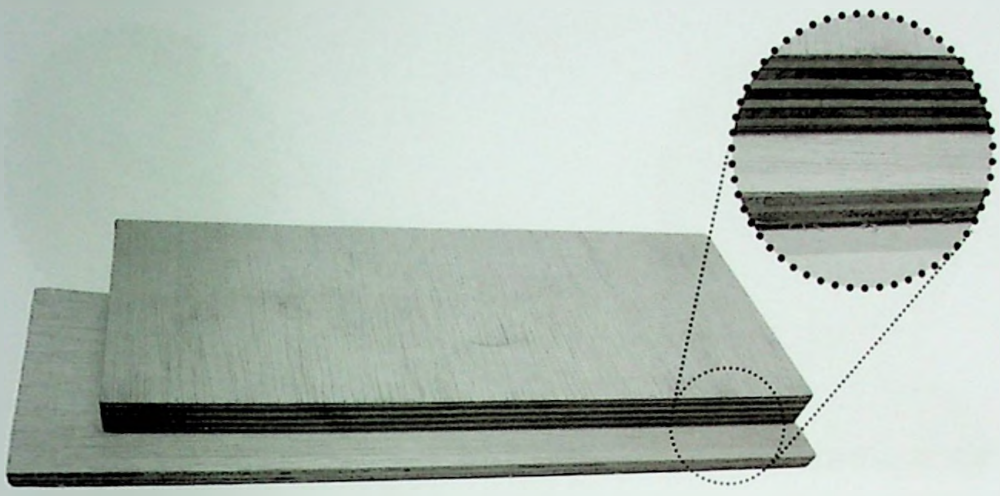


FIGURA 3.10
Plywood ou madeira compensada
Foto: MEZO (2022).

3.3.1 Madeira compensada (*plywood*)

O painel de madeira compensada, ou *plywood*, é um produto obtido pela colagem de lâminas de madeira sobrepostas, em número ímpar, com as fibras cruzadas perpendicularmente, processo chamado de granulação cruzada, como ilustrado na Figura 3.10. A madeira utilizada na produção de madeira compensada pode ser *hardwood* ou *softwood*. Uma chapa de compensado não precisa ser produzida, necessariamente, com lâminas da mesma espécie de madeira. Podem ser utilizadas lâminas de menor resistência e rigidez nas camadas internas, mantendo as mais resistentes na camada externa, sem que haja redução de suas propriedades físicas.

As principais vantagens da madeira compensada são: homogeneização de características ao longo de toda a placa, acompanhada do equilíbrio de resistência e da rigidez nas duas direções; redução da retração da madeira; melhor aproveitamento da madeira; obtenção de maiores áreas; substituição de elementos de madeira serrada mais espessos e mais pesados (INO, 2009).

As chapas de compensado são utilizadas, principalmente, para a composição de sistemas construtivos mistos, como painéis de vedação e de cobertura e na confecção de móveis. De forma provisória, são utilizadas em obras como tapumes, fôrmas para concreto e bandejas de proteção.

Em geral, a chapa é fabricada na dimensão de 110 x 220 cm ou 244 x 122 cm, com espessuras de 6, 10, 12, 14, 18 e 20 mm. É a espessura e o tipo de adesivos uti-

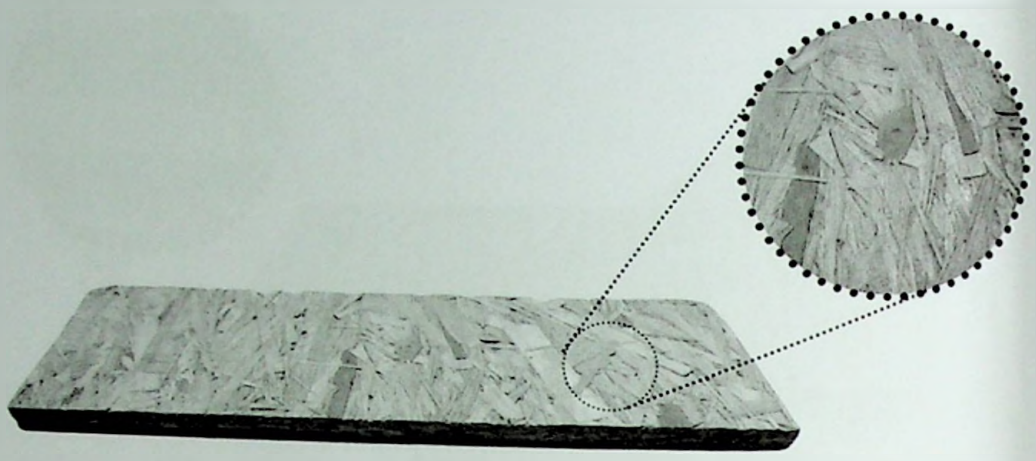


FIGURA 3.11
Chapa OSB.
Foto: Mezo (2022).

lizados em sua fabricação que determinam o melhor uso das chapas, para estruturas ou vedação, se para ambientes úmidos ou secos. Elas podem ser à prova d'água (naval), resinadas ou plastificadas.

3.3.2 Painel de tiras orientadas (OSB)

A *Oriented Strand Board* (OSB) é uma chapa produzida com três ou cinco camadas de tiras alternadas, cada camada orientada a 90 graus em relação à outra, prensadas sob alta temperatura. O aspecto superficial da chapa OSB é detalhado na Figura 3.11. Isso contribui para a melhoria do comportamento da placa à flexão e aumenta a sua estabilidade dimensional (INO, 2009). A espécie de madeira utilizada deve apresentar fibras retilíneas e permeabilidade adequada aos adesivos, sendo empregadas, em geral, madeiras de reflorestamento. As tiras medem aproximadamente 0,6 x 35 x 75 mm e, em diversos casos, são subprodutos de outras indústrias, como a do compensado. Podem ser coladas utilizando, conforme especificações em inglês, *phenol formaldehyde resin* (PF), *modified melamine formaldehyde resin* (MUF) e *polymeric diphenylmethane diisocyanate* (PMDI), no qual a proporção de resina corresponde a 5-10% do produto final (NIEMANN, 2018). Em virtude da cola de sua constituição, possui processo de degradação biológica praticamente idêntico ao da madeira sólida (DEPLAZES,2005).

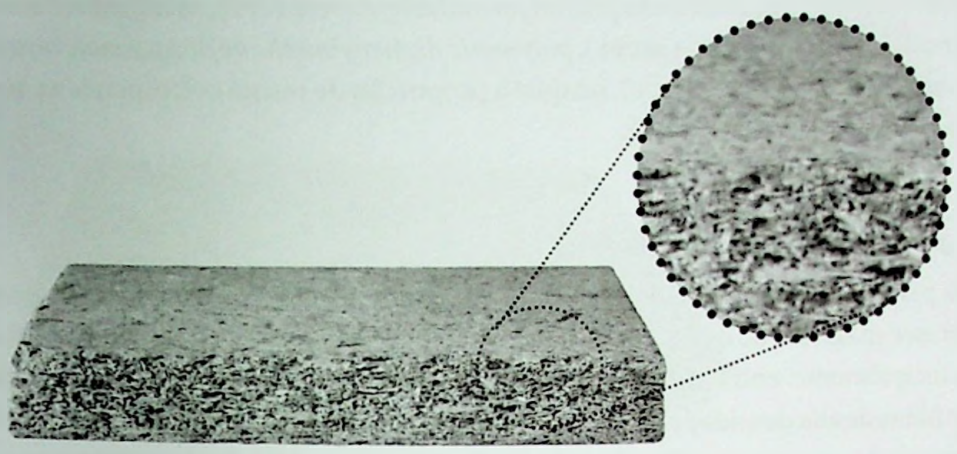


FIGURA 3.12
Aglomerado
Foto: Mezo (2022).

A OSB é empregada, principalmente, para a produção de paredes portantes, como contraventamento de pisos, paredes e tetos, acabamento, ou como alma de vigas I (NIEMANN, 2018). Também é amplamente utilizada na produção de móveis e objetos decorativos.

3.3.3 Painel aglomerado (*Chipboard*)

O painel aglomerado é formado a partir de partículas unidas por resina. O detalhe da composição das partículas é apresentado na Figura 3.12. As partículas são geradas em equipamentos picadores, e submetidas à secagem, depois recebem uma resina sintética e, finalmente, são prensadas sob alta pressão e temperatura no formato de painéis. A densidade aparente do produto é baixa, resultado da organização das camadas do produto: as camadas externas (de cobertura) são compostas por material de partículas finas; o interior do painel é formado por partículas grossas. Dessa maneira, o consumo de material é reduzido durante a fabricação, o que torna o painel mais leve. Como matéria-prima para a sua produção são utilizadas madeiras de rejeito (resíduos e madeiras de baixa qualidade) e madeiras recicladas.

As principais finalidades de uso dos painéis de aglomerado são a fabricação de móveis e o acabamento de interiores (PW, 2021). Nesse painel, as partículas

podem ser coladas utilizando *phenol formaldehyde resin* (PF), *modified melamine formaldehyde resin* (MUF + MUPF), *polymeric diphenylmethane diisocyanate* (PMDI), e *urea-formaldehyde resin* (UF), no qual a proporção de resina corresponde a 5-20% do produto (NIEMANN, 2018).

3.3.4 Painel de fibra de madeira

Os painéis de fibras de madeira têm, na maioria das vezes, uma estrutura homogênea e mais fina do que a dos painéis de aglomerado. Existe uma diferenciação, principalmente, entre MDF (painel de fibras de média densidade) e HDF (painel de fibras de alta densidade), como destaca a Tabela 3.2. O painel de fibras de média densidade, ou MDF, é utilizado principalmente na indústria de móveis e pisos, bem como no acabamento de interiores. Tais painéis podem ser folheados, laminados, pintados ou revestidos de outra forma. Um exemplo de MDF é apresentado na Figura 3.13. São produzidos painéis com uma espessura de 1,2 mm até 60 mm, cuja densidade varia de 600 kg/m^3 até 1200 kg/m^3.

Já os painéis com densidade superior a 800 kg/m^3 são, geralmente, conhecidos pelo nome *High Density Fiberboard* (HDF). Eles são utilizados, principalmente, como painéis estruturais pela indústria de pisos (piso laminado) (PW, em rede[5]). Nesses painéis, as fibras podem ser coladas utilizando *phenol formaldehyde resin* (PF), *modified melamine formaldehyde resin* (MUF), *polymeric diphenylmethane diisocyanate* (PMDI), e *urea-formaldehyde resin* (UF), no qual a proporção de resina corresponde a 8-21% do produto (KOHAUS; KÖNIG, 2018).

[5] Informações disponíveis no seguinte endereço: https://processing-wood.com/pt.

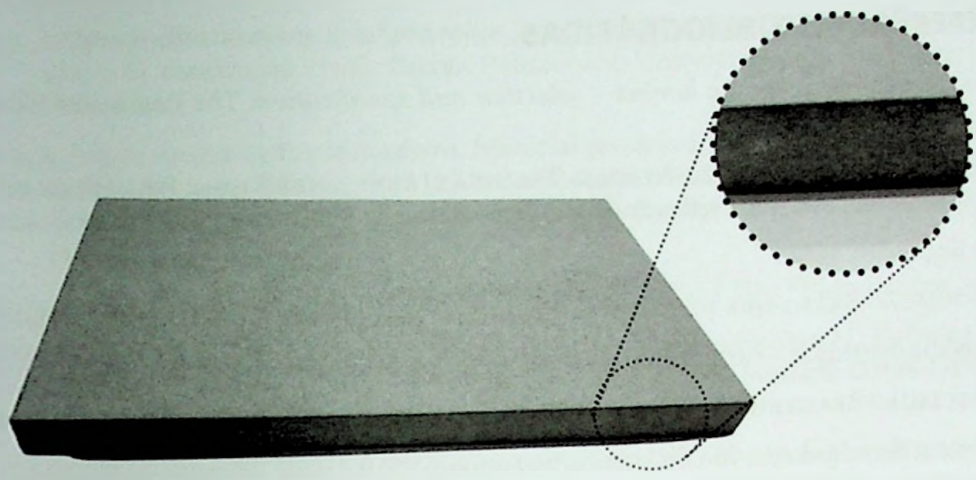


FIGURA 3.13
MDF
Foto: Mezo (2022).

TABELA 3.2
CLASSIFICAÇÃO DE MDF E HDF DE ACORDO COM A ESPESSURA E A DENSIDADE

	Faixas de espessura (mm)					
Densidade (kg/m3)	< = 6,0	> 6,0 a 9,0	> 9,0 a 12,0	> 12,0 a 19,0	> 19,0 a 30,0	> 30
> 800	HDF	HDF	–	–	–	–
651 a 800	MDF	MDF	MDF	MDF	MDF	MDF
631 a 650	–	–	–	–	MDF	MDF

Fonte: adaptada da ABNT, 2015, p. 01.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA. *Structural composite lumber – selection and specification*. The Engineered Wood Association, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8456-1: Postes de eucaliptonpreservado para redes de distribuição de energia elétrica – Parte 1: Especificação. Rio de Janeiro, 1984.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16864-1: Madeira Serrada – Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR *7190-6*: Projeto de estruturas de madeira. Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural. Rio de Janeiro, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190-7: Projeto de estruturas de madeira. Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural. Rio de Janeiro, 2022b.

AFLALO, M. *Estruturas em madeira*: forma e método. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020. DOI: 10.11606/T.102.2020.tde-27012021-092243.

BINATIONAL SOFTWOOD LUMBER COUNCIL (BSLC). *Nail-laminated timber*. Canadian design & construction guide. v. 1. Binational Softwood Lumber Council and Forestry Innovation Investment Ltd.: 2017. Disponível em: www.naturallywood.com.

BRANDNER, R.; FLATSCHER, G. *et al.* Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 74, p. 331–351, 2016. DOI: 10.1007/s00107-015-0999-5.

CALIL JR.; C.; BRITO, L. D. *Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento*. São Carlos: EESC/USP, 2010.

CHEN, C. X.; PIEROBON, F.; GANGULY, I. Life Cycle Assessment (LCA) of Cross-Laminated Timber (CLT) produced in Western Washington: The role of logistics and wood species mix. *Sustainability*, v. 11, n. 15, p. 1-17, 2019. DOI: 10.3390/su11051278.

CHILETTO, T. O. *Habitações em madeira*: investigação do cross-laminated timber como alternativa para o morar sustentável no Brasil. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

DEPLAZES, A. (ed.). *Constructing architecture*: materials, processes, Structure. Basel: Birkhäuser, 2005. DOI: 10.1007/3-7643-7666-x.

GREEN, M. (Ed.). *The case for tall building*: how mass timber offers a safe, economical, and environmentally friendly alternative for tall buildings structures. Vancouver: Blurb, 2011.

INO, A. *Sistema estrutural em eucalipto roliço para habitação*. Tese (Doutorado em engenharia de construção civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

INO, A. *Projeto e construção em madeira*. Material produzido para o minicurso realizado no V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis e II Bienal de Sustentabilidade José Lutzenberger, Recife, 2009.

KARACABEYLI, E.; GAGNON, S. *Canadian CLT handbook*. Point-Clare: FPInnovations, 2019.

KAUFMANN, H. *et al.* Structures and support structures. In: KAUFMANN, H.; KRÖTSCH, S.; WINTER, S. *Manual of multi-storey timber construction*. Munich: Detail Edition, 2018, pp. 38-49.

KOHAUS, M.; KÖNIG, H. Interior air quality – the influence of timber construction. In: KAUFMANN, H.; KROTSCH, S.; WINTER, S. *Manual of multi-storey timber construction*. Munich: Edition Detail, 2018, pp. 30-35.

NIEMANN, A. Solid wood and wood-based products. In: KAUFMANN, H.; KRÖTSCH, S.; WINTER, S. *Manual of multi-storey timber construction*. Munich: Detail Edition, 2018, pp. 18-23.

PASSARELLI, R. N. *Cross Laminated Timber*: diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismos e Tecnologia). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PASSARELLI, R.; INO, A. Produção de painéis maciços de tábuas e cavilhas de madeira ("stack-board"): estudo de caso de uma fábrica austríaca. *In*: Encontro Latino-americano de Edificações e Comunidade Sustentáveis, Curitiba, 2013, *Anais*... Encontro Latino-americano de Edificações e Comunidade Sustentáveis. Curitiba: UFPR/ANTAC/UEPG, 2013. p. 26-35. DOI: 10.12702/978-85-89478-40-3-a029.

PEREIRA, M. C. M. *Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de Madeira Laminada colada*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2014.

PEREIRA, M. C. M. *Painel estrutural de madeira maciça tipo* DCLT: estudo experimental, analítico e numérico de dois painéis de lamelas cruzadas com ligações cavilhadas. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. DOI:10.11606/T.18.2019.tde-20082019-141710.

THINK WOOD. *Mass timber in North America. Educational Advertisement*. s/d. Disponível em: https://thinkwood-wordpress.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2020/08/22162045/AR0820_CEU_THINKWOOD-REPRINT-2.pdf.

SHIGUE, E. K. *Difusão da construção em madeira no Brasil*: Agentes, ações e produtos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. Wood-based composite materials. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (FLP). *Wood handbook* – wood as an engineering material. General

Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, pp. 11-1 a 11-28. DOI: 10.2737/FPL--GTR-190.

WAUGH THISTLETON ARCHITECTS. *100 projects* UK CLT. Canadá: Softwood Lumber Board & Forestry Innovation Investment, 2018.

YUBA, Andrea N. *Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais.* 2005. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Doi:10.11606/T.18.2005.tde-13062006-193817.

ZENID, G. J. *Madeira*: uso sustentável na construção civil. 2. Ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SVMA, 2009.

Websites para pesquisa e conhecimento de produtos

APA: https://www.apawood.org/

CROSSLAM: https://www.crosslam.com.br/site/.

ITA: https://www.itaconstrutora.com.br/

IBF: https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/madeira-serrada

NATURALLY: Wood https://www.naturallywood.com

PW: Processing Wood - https://processing-wood.com/pt/

STRUCTURAL CRAFT: https://structurecraft.com/

WOODSOLUTIONS: https://www.woodsolutions.com.au/