

MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS EM USO PELO SETOR PRODUTIVO DE CASAS DE MADEIRA NO BRASIL¹

LIGNOCELLULOSIC MATERIALS IN USE BY THE PRODUCTION SECTOR OF TIMBER HOUSES IN BRAZIL

Victor Almeida DE ARAUJO^{2,6}; João Carlos BIAZZON³; Elen Aparecida Martines MORALES⁴; Juliana CORTEZ-BARBOSA⁴; Maristela GAVA⁴; José Nivaldo GARCIA⁵

RESUMO - Mundialmente, a madeira e os seus derivados atuam como materiais fundamentais para a construção civil, em virtude de suas características. O Brasil tem produzido muitos estudos científicos e exemplares construtivos sobre a construção em madeira, mas esse cenário é ainda razoável frente àquelas nações desenvolvidas. Apesar dessa condição promissora, o país carece de soluções adaptadas às suas diversidades regionais, cujos desenvolvimentos demandam por iniciativas contínuas para gerar tecnologias construtivas e dados setoriais. À luz dessa carência, surgiu a necessidade de identificar a popularidade dos diversos tipos de madeira e derivados em uso no panorama nacional. Assim, este artigo teve como propósito fazer esse levantamento junto ao setor produtivo brasileiro da habitação de madeira. A coleta de dados foi realizada por entrevistas face-a-face com os respectivos produtores para verificar a utilização desses insumos por esse setor. Somente as matérias-primas estruturais foram declaradas em uso. A madeira maciça serrada e a madeira maciça verde foram os insumos serrados mais comuns. Os derivados de madeira mais populares foram, no caso dos painéis, a chapa de tiras orientadas e compensado, e no âmbito das vigas, a madeira laminada colada e a viga “I”.

Palavras-chave: Material construtivo; Madeira; Habitação; Pesquisa setorial.

ABSTRACT - Worldwide, wood and its composites act as underlying raw materials for construction, due to their features. Brazil has produced many scientific studies and building examples about timber construction, but this scenario is still reasonable compared to those developed nations. Despite this promising status, the country lacks construction solutions adapted to its regional diversities, whose developments demand for continuous initiatives to generate building technologies and materials, and sectoral data. In light of this data limitation, the need to identify the popularity of several types of wood and composites in use in the national panorama. Thus, this paper aimed to carry out this survey with the Brazilian production sector of timber housing. The data collection was carried out by face-to-face interviews with respective producers to verify the utilization of these inputs by this sector. Only the structural materials were declared in using. Sawn solid wood and green solid wood were the most common lumber-based inputs. The most popular wood-based composites were, in the case of panels, oriented strand board and plywood, and in the scope of beams, glued laminated timber and I-joist.

Keywords: Building material; Timber; Housing; Sectorial research.

¹ Recebido para análise em 06.09.2019. Aceito para publicação em 31.07.2020.

² Grupo de Pesquisa em Desenvolvimento de Produtos Lignocelulósicos – LIGNO. Rua Geraldo Alckmin, 519, 18409-010, Itapeva, SP, Brasil.

³ Faculdade Anhanguera, Cursos de Engenharia Civil e Elétrica, Unidade Itapeva. Avenida Benjamin Constant, 654, 18405-000, Itapeva, SP, Brasil.

⁴ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Campus de Itapeva. Rua Geraldo Alckmin, 519, 18409-010, Itapeva, SP, Brasil.

⁵ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Florestais, Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

⁶ Autor para correspondência: Victor Almeida de Araujo - engim.victor@yahoo.de / victor@alumni.usp.br

1 INTRODUÇÃO

A madeira mantém uma importância primordial na indústria da construção em todo o mundo, devido à sua originalidade, versatilidade, diversidade e estética (Lyons, 2010). Os produtos de madeira para a construção variam desde peças com pouco ou nenhum processamento até aquelas com vários graus de beneficiamento, incluindo formas roliças, serradas, beneficiadas ou derivadas (Zenid, 2009).

A madeira roliça possui aplicação em sua forma natural ou torneada em um cilindro. Ainda pode ser encontrada com ou sem a sua casca envoltória. A extração da madeira roliça, isto é, das toras, na floresta é realizada pelo abatimento da árvore com um corte transversal em sua base, por meio de motosserras, serras e serrotes ou modernas máquinas de colheita, e.g., harvesters ou feller bunchers.

A madeira serrada é oriunda do processo de transformação pelo corte longitudinal das toras de madeira para a produção de peças de seção retangular ou quadrangular (Figura 1), na forma de tábuas, pranchas, vigas, vigotas, caibros, sarrafos e ripas (Gonçalves, 2000; Zenid, 2009; Wiedenhoeft, 2010). Precursora da madeira serrada mecanicamente, a madeira falquejada representa a técnica artesanal de cortes manuais para o seccionamento em blocos sólidos por meio de machados, formões etc.

A madeira beneficiada é obtida pela usinagem das peças serradas por meio das operações de aplainamento, molduramento, torneamento, furação, desempeno, desengrosso, destopamento, recortes, ranhuras e/ou respigamento (Zenid, 2009). A madeira aparelhada resulta do processo de aplainamento de suas faces maiores, com a sua regularização dimensional mediante um esquadrejamento da peça.

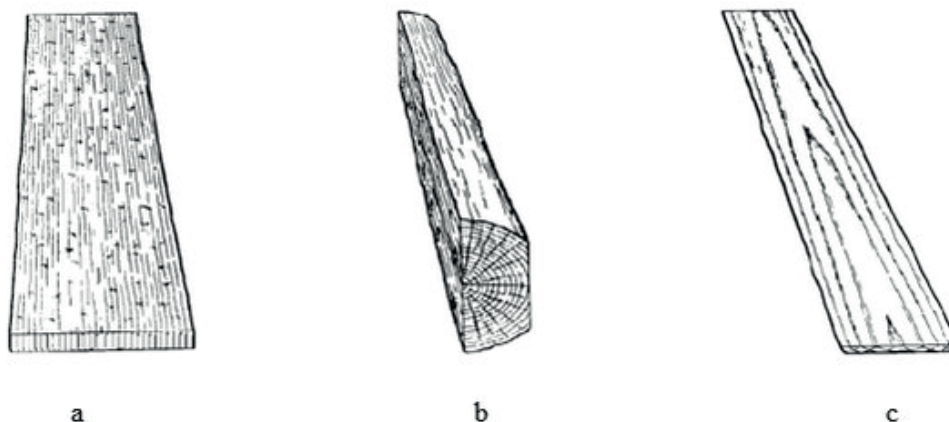


Figura 1. Madeira serrada: (a) prancha, (b) bloco e (c) tábua. Fonte: Wiedenhoeft (2010).

Figure 1. Sawn wood: (a) plank, (b) block and (c) board. Source: Wiedenhoeft (2010).

A falta do conhecimento das propriedades da madeira faz com que os seus produtos possam ser empregados erroneamente e, muitas vezes, causando prejuízos às indústrias (Latreille et al., 2018).

Para o melhor uso da madeira maciça, seja na forma roliça, serrada ou beneficiada, sugerem-se os tratamentos de secagem e preservação. Segundo Martins (1988), a secagem da madeira apresenta

benefícios como estabilidade dimensional, diminuição de manchas e apodrecimentos, redução do peso, maior trabalhabilidade e melhorias na resistência mecânica, adesão e fixação de pregos e parafusos. Em alternativa, a madeira tratada não possui o inconveniente de reparos e substituições frequentes de acordo com Jankowsky (1990), permitindo usar madeiras menos duráveis em ambientes mais severos.

A despeito de sua forma, o uso de madeira maciça na construção tem limitações comumente impostas por sua seção transversal e comprimento (Teixeira et al., 2014). Ainda bastante popular nos países desenvolvidos, a madeira serrada tem encontrado concorrência de produtos engenheirados

de madeira (Carvalho, 2008) obtidos pela colagem de resinas estruturais para obter vigas robustas para suprir grandes vãos e estruturas altas (Structural Timber Association, 2014). Assim, se desenvolveram muitos derivados estruturais e não-estruturais para a finalidade de matéria-prima industrial (Figura 2).

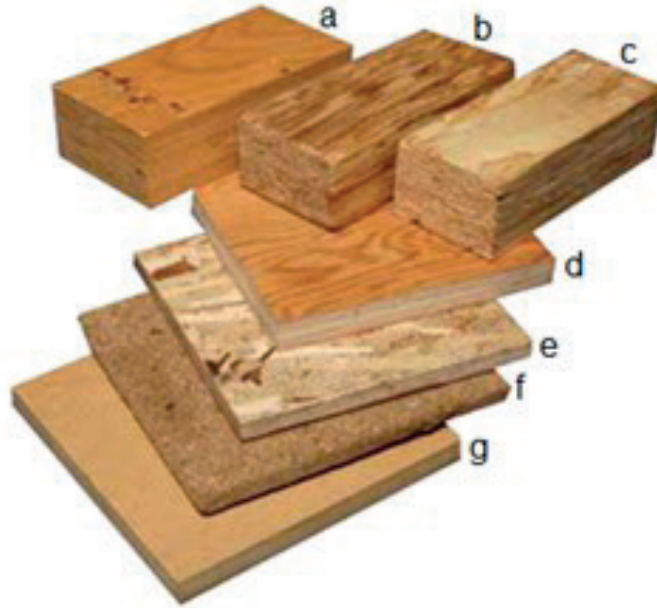


Figura 2. Derivados de madeira: (a) Peça Microlaminada - LVL, (b) Peça de Ripas Paralelas - PSL, (c) Peça de Flocos Microlaminados - LSL, (d) Compensado, (e) Pannel de Partículas Orientadas - OSB, (f) Pannel de Partículas de Média Densidade - MDP e (g) Pannel de Fibras de Média Densidade - MDF. Fonte: Stark et al. (2010).

Figure 2. Wood-based composites: (a) Laminated Veneer Lumber - LVL, (b) Parallel Strand Lumber - PSL, (c) Laminated Strand Lumber - LSL, (d) Plywood, (e) Oriented Strand Board - OSB, (f) Medium Density Particleboard - MDP, and (g) Medium Density Fiberboard - MDF. Source: Stark et al. (2010).

As chapas em madeira são identificadas de acordo com o arranjo do material lignocelulósico. Com isso, Gonçalves (2000) categorizou esses painéis em: partículas e flocos (WB, OSB, PB e MDP), fibras (HB ou HDF, IB e MDF) e lâminas (PW e BB). Tais siglas e aspectos estão definidos a seguir.

O *Waferboard* - WB é o pannel de flocos prensados a quente com resinas fenólicas. Segundo Gonçalves (2000) eram configuradas de três a cinco camadas alternadas. Com propriedades estruturais aceitáveis e baixa rigidez, a mesma foi desenvolvida, na década de 1950, a partir de flocos quadrados de 4

cm distribuídos de modo aleatório e não intencional (Shmulsky e Jones, 2011; Zerbe et al., 2015).

O *Oriented Strand Board* - OSB, ou chapa estrutural de lascas orientadas em camadas cruzadas, é feito com finas partículas de madeira coladas por uma resina com alta resistência à umidade (Stark et al., 2010). Desenvolvido como uma segunda geração do waferboard na década de 1980, a chapa OSB compartilha muitas das características de um compensado, contudo, possui um emprego mais eficiente (Shmulsky e Jones, 2011). Essa evolução proporcionou um pannel com, geralmente, três

camadas de partículas orientadas, cujas faces são alinhadas entre si e perpendiculares ao miolo (Stark et al., 2010). Frente ao compensado, o OSB se tornou o principal produto de madeira para a construção civil, já que oferece um desempenho estrutural similar a uma eficiência produtiva superior (Zerbe et al., 2015).

O *Particleboard* – PB, ou aglomerado, é o painel feito a partir de cavaco ou maravalha, cujas partículas são aglutinadas com resina sintética termofixa e consolidadas sob a ação de alta temperatura e pressão (Zenid, 2009). Cerca da metade da produção industrial de aglomerado é destinada ao uso moveleiro comercial ou habitacional, enquanto que um terço é consumido por fabricantes de gabinetes de cozinha ou de eletroeletrônicos, como televisores e aparelhos de som (Shmulsky e Jones, 2011). A aplicação construtiva do aglomerado é particularmente reduzida, com enfoque em pisos e decks para áreas não molhadas e não expostas ao tempo.

O *Medium Density Particleboard* – MDP, ou aglomerado de partículas de média densidade, é feito pela aglutinação de partículas com resinas, por meio da aplicação simultânea de temperatura e pressão (Zenid, 2009). No Brasil, o painel MDP se distingue de um aglomerado tradicional por utilizar madeiras de reflorestamento e processos contínuos de prensagem mais modernos que os cíclicos, o que confere melhores características mecânicas (Vidal e Hora, 2014).

O *Hardboard* – HB, ou chapa dura, é feito com fibras de madeira vindas do refino de cavacos (Fitton e Walford, 1998), exibindo uma face lisa e a outra corrugada (Zenid, 2009). A chapa dura pode ser manufaturada pelos processos seco ou úmido (Gonçalves, 2000). Também identificado como HDF (high density fiberboard), esse painel não possui uso construtivo estrutural como chapa de vedação.

O *Insulation Board* – IB, ou chapa isolante, consiste na chapa de baixa densidade não-estrutural a qual possui matéria-prima derivada da desfibrilação de cavacos de madeira em um refinador a vapor. Segundo Maloney (1996), esse painel se difere da chapa dura em virtude da ausência de um processo de prensagem a quente. Gonçalves (2000) especificou que a chapa isolante é obtida a partir de dois processos fabris (úmido ou seco), cujo método mais antigo e popular, úmido e sem compressão, é voltado para a utilização em divisórias e isolamento acústico.

O *Medium Density Fiberboard* – MDF, ou chapa de fibras de média densidade, é produzido a partir de fibras de madeira aglutinadas com resina sintética, as quais são consolidadas pela ação conjunta de temperatura e pressão (Zenid, 2009). A ureia-formaldeído ainda representa a resina mais dominante na produção desses painéis (Maloney, 1996). O seu processo produtivo inclui o cozimento das partículas, levando a maior grau de desagregação das fibras, bem como apresenta um maior consumo de madeira e resina por volume (Vidal e Hora, 2014). Segundo Gonçalves (2000), o MDF é um produto homogêneo, uniforme, estável, denso e de superfície lisa e plana, o que promove um bom desempenho em usinagens complexas.

O *Plywood* – PW, ou chapa compensada, é obtida pela colagem de lâminas geradas por uma faqueadeira ou torno desenrolador (Zenid, 2009). É fabricada pela laminação cruzada, na qual as lâminas de madeira são sobrepostas em camadas (3 a 5) com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes (Iwakiri et al., 2005). Esse painel estrutural é feito por lâminas coladas com resinas fenólicas sintéticas, duráveis para o uso em ambientes externos (Fitton e Walford, 1998). Nos Estados Unidos, o compensado rivaliza com o OSB (Maloney, 1996).

O *Blockboard* – BB, ou compensado sarrafeado, constituem na alternativa de aproveitamento de resíduos das serrarias, em geral descartados ou destinados para a energia (Iwakiri et al., 2005). Gonçalves (2000) assinalou que esses painéis são revestidos por chapa dura, o seu miolo é composto por pequenos sarrafos colados lateralmente.

A industrialização da madeira de reflorestamento em vigas engenheiradas surgiu como uma alternativa interessante para suprir a construção de casas e estruturas, pois adiciona valor econômico à matéria-prima em questão mediante práticas produtivas viáveis, racionalizadas e sustentáveis.

As vigas de madeira são peças sólidas de formatos cilíndricos ou retangulares, e em alguns casos até curvilíneos, utilizadas na construção civil para vencer estruturalmente os vãos livres. Dentre os tipos de vigas de madeira mais populares, Thallon (2008) listou: madeira serrada, madeira laminada colada, viga reforçada, LSL, OSL, LVL, PSL, viga caixão, viga “I” e viga “fitch”; cada exemplo está ilustrado na Figura 3 e será abordado a seguir.

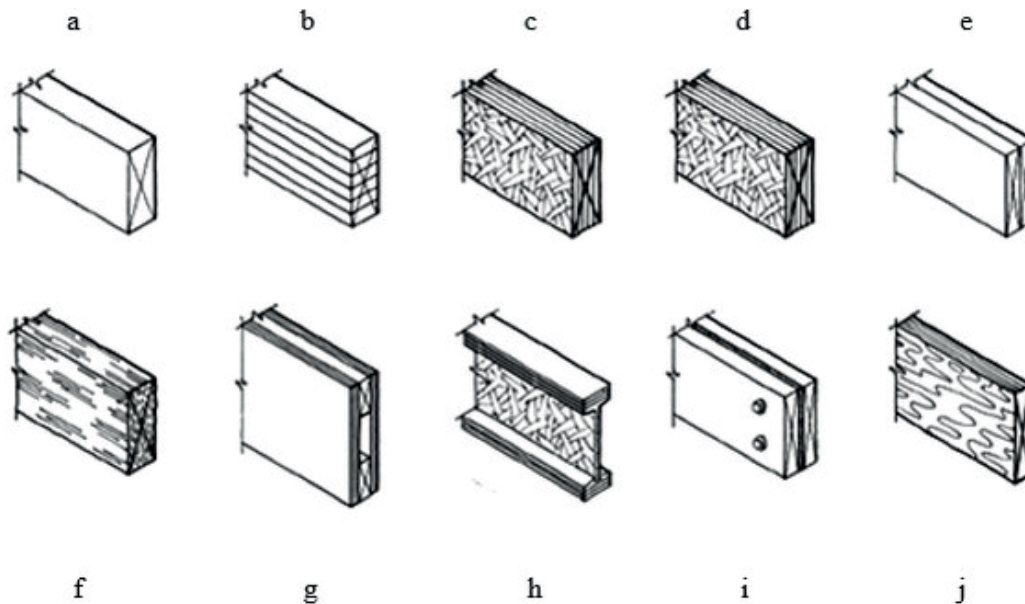


Figura 3. Vigas de Madeira: (a) Madeira Maciça Serrada, (b) Madeira Laminada Colada - MLC, (c) Peça de Flocos Microlaminados - LSL, (d) Peça de Flocos Orientados - OSL, (e) Viga Reforçada, (f) Peça Microlaminada - LVL, (g) Viga Caixão, (h) Viga “I”, (i) Viga “fitch” e (j) Peça de Flocos Microlaminados - PSL. Fonte: Thallon (2008).

Figure 3. Wooden Beams: (a) Massive Sawn Wood, (b) Glued-laminated Timber - Glulam, (c) Laminated Strand Lumber - LSL, (d) Oriented Strand Lumber - OSL, (e) Reinforced Wood Beam, (f) Laminated Veneer Lumber - LVL, (g) Box Beam, (h) “I” Joist, (i) “Fitch” Beam, and (j) Parallel Strand Lumber - PSL. Source: Thallon (2008).

A madeira serrada é resultado do beneficiamento de toras de madeira em blocos serrados em duas ou quatro faces. Apesar dos cortes nos dois topos da peça, o primeiro exemplo possui duas superfícies planas e duas arredondadas, se resumindo no modo mais simplificado. Já o segundo modelo possui um nível de usinagem completo, ou seja, em suas quatro faces.

A viga caixão é formada por duas vigotas separadas e revestidas por chapas de compensado externas, pregadas e coladas, formando uma caixa oca (Thallon, 2008). Essa formação confere um elemento leve, oco e com certa resistência para aplicações sem grandes cargas estruturais.

A Madeira Laminada Colada – MLC, ou Glulam (*Glued Laminated Timber*) é formada por três ou mais camadas de tábuas (lamelas) de madeira coladas em conjunto com as grãos orientadas de modo paralelo (Hoadley, 2000), ao

eixo longitudinal da peça, permitindo formas retas ou curvas (Cai, 2012). Possui camadas de tábuas com dimensões precisas, coladas por resinas à base de formaldeído em gabaritos (Lyons, 2010), e unidas por encaixes em suas extremidades para produzir elementos longos. Furtado e Terezo (2014) sugerem que tais vigas surgem como novas tendências para a construção.

O *Laminated Strand Lumber* - LSL representa a versão linear do OSB, com partículas alinhadas em paralelo ao comprimento da peça (Hoadley, 2000), as quais são alongadas e apresentam ao redor de 300 milímetros de comprimento, sendo levemente maiores que as partículas do OSB (Cai, 2012). Zhang e Lu (2014) enfatizam que o uso do LSL como um composto de madeira estrutural tem conquistado notória aceitação em construções leves comerciais e residenciais.

O *Oriented Strand Lumber* - OSL é uma viga formada por flocos compridos ou maravalhas de cerca de 300 mm (Gonçalves, 2000). Esses particulados são prensados em uma prensa injetora de vapor, produzindo uma densidade uniforme ao longo de toda a peça (Maloney, 1996).

A viga reforçada remete àquelas tábuas pregadas ou parafusadas formando uma viga única de madeira (Thallon, 2008). O seu foco é produzir um maciço de tábuas com maior resistência e melhor estabilidade do que um bloco tradicional de madeira, por conta de seu menor índice de defeitos, como rachaduras, nós, bolsas de resina etc.

O *Laminated Veneer Lumber* - LVL é composto por lâminas dispostas paralelamente em relação às fibras para um emprego predominantemente estrutural (Carvalho, 2008). Apesar do uso estrutural, o LVL à base de colas fenólicas ou uretanas pode ser aplicado em móveis robustos (Maloney, 1996).

A viga “*fitch*” é capaz de vencer grandes vãos, pois é composta por uma chapa de aço que é revestida entre duas tábuas de madeira, unidas pelo parafusamento de todo o conjunto (Destefano e McDonald, 1997); esse dispositivo é utilizado para melhorar o desempenho estrutural das vigas de tábuas maciças convencionais.

Formada por flanges e uma alma central, a viga mista tipo “I” representa um compósito misto. Leichti et al. (1990) apontaram que a composição dessas vigas “I” inclui a madeira serrada (ou LVL) e compensado (ou OSB). Segundo Fitton e Walford (1998), a alma dessas vigas pode também ser feita por chapas duras. Derivadas das vigas de aço de formato similar, Hoadley (2000) realçou que o material adicional nos flanges é crucial para resistir ao estresse axial, contudo, a sua conexão, pela alma central, auxilia no suporte às tensões de cisalhamento.

O *Parallel Strand Lumber* - PSL é composto de ripas finas orientadas, em geral de resíduos da laminação de coníferas (Gonçalves, 2000). Segundo Hoadley (2000), as ripas são pulverizadas com resina à prova d’água e levadas para uma prensa contínua, onde o adesivo é curado por micro-ondas. Cai (2012) aponta que a menor dimensão de uma partícula não deve ser superior a 6,4 milímetros e o seu comprimento deve ser ao menos 150 vezes a dimensão menor.

A partir dos conceitos da madeira laminada colada, outros compósitos estruturais modernos foram desenvolvidos e se encontram em franca popularização por conta do uso de elementos serrados. Destacam-se os painéis produzidos por serrados colados tanto lateralmente quanto ortogonalmente.

O *Edge Glued Panel* – EGP, ou painel de sarrafos colados lateralmente, foi concebido com uma resistência estrutural razoável para suprir fins relacionados à marcenaria e carpintaria não-estrutural. Colados sobre pressão, Nicholls (2010) definiu que esses painéis são formados por sarrafos estreitos padronizados. O uso da madeira serrada permitiu uma colagem eficiente entre as bordas laterais desses elementos, embora também possam apresentar uniões de topo entre peças menores reaproveitadas de materiais de qualidade inferior (Calil Neto et al., 2016; Kutnar e Muthu, 2016). Contudo, essas uniões por arestas planas ortogonais limita a resistência mecânica na construção civil (Calil Neto et al., 2016).

Assim, um painel estruturalmente mais robusto foi gerado a partir dessa solução, caracterizado por sua flexibilidade na disposição em chapas e vigas. Esse derivado de madeira constituiu na Madeira Laminada Colada Cruzada - MLCC ou *Cross Laminated Timber* - CLT. Gagnon e Pirvu (2011) definiram-no como um painel de tábuas de madeira empilhadas ortogonalmente e coladas umas às outras em suas faces mais largas (Figura 4). Crespell e Gaston (2011) sugeriram que, devido a montagem rápida, a modulação construtiva desse painel pode ser adequada para substituir o aço, o concreto e a alvenaria.

Outro produto compósito constitui nas placas cimentícias, as quais apresentam boa resistência mecânica e hidro-ignífuga, a partir de um composto de cimento e partículas e/ou fibras celulósicas. As placas cimentícias são produzidas por meio de uma mistura de cimento *Portland*, fibras de celulose ou sintéticas e agregados (Craсто, 2005), cujo agente aglutinante é representado pelo gesso ou cimento (Maloney, 1993). A proporção de particulados finos de madeira pode alcançar até 63,5% (Nennewitz et al., 2008). Esses painéis possuem boa resistência a intempéries e insetos e permitem ser serrados, usinados, furados por brocas metálicas e, também, travados por parafusos (Villas-Bôas et al., 2017).

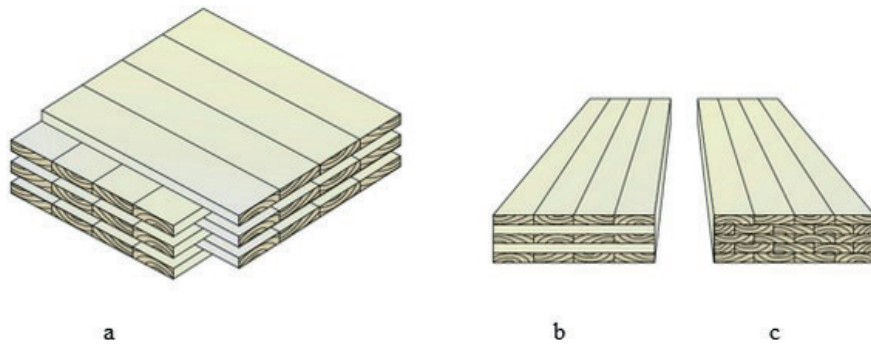


Figura 4. Madeira Laminada Colada Cruzada: (a) Painéis e comparativo entre as vigas de (b) CLT com camadas ortogonais e (c) MLC com camadas paralelas. Fonte: Gagnon e Pirvu (2011).

Figure 4. Cross-laminated Timber: (a) Panels, and a comparison between beams of (b) CLT with orthogonal layers, and (c) Glulam with parallel layers. Source: Gagnon e Pirvu (2011).

Diante das grandes vantagens econômicas e ambientais, o uso da madeira e derivados surge como uma solução possível e viável, demandando mais pesquisas para a sua difusão e consolidação mercadológica. Portanto, o presente estudo tem como propósito a realização de um levantamento dos principais tipos encontrados de madeiras destinadas à produção de habitações em madeira, indicando o porcentual para cada matéria-prima à base de madeira em uso pelos produtores dessas casas no Brasil.

As hipóteses formuladas consideram que: há um uso visível dos derivados lignocelulósicos no Brasil por parte do setor produtivo de casas de madeira, entretanto, esse estágio ainda não é percebido no escopo daqueles derivados não-estruturais; e, apesar da maior mecanização no processamento e no tratamento da madeira bruta em pleno Século XXI, a madeira verde, ou úmida, ainda se traduz em um insumo com perceptível utilização pelas empresas estudadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Em razão da não existência de uma associação ou entidade de classe dos produtores de casas de madeira no Brasil, dados setoriais e a população exata desses produtores não se faziam presentes na literatura. Diante dessa escassez, surgiu a necessidade da condução de um amplo estudo acerca da realidade do setor produtivo de casas de madeira, o qual gerou diversos eixos

analisados neste artigo e em outras abordagens. Por conta da grande quantidade de informações requisitadas, esse amplo estudo abordou a condução de um diagnóstico setorial realizado por entrevistas face-a-face, individuais e aleatórias, aplicadas junto aos proprietários dessas empresas avaliadas. O estudo foi iniciado mediante buscas em websites corporativos disponíveis na internet desses produtores. Isso permitiu estimar a população setorial. Essa estratégia foi utilizada igualmente em De Araujo et al. (2018a,b,c, 2019).

A avaliação se deu por meio de um formulário padrão, aplicado a uma amostra representativa e aleatória dessa população setorial supracitada. O formulário foi desenvolvido com o auxílio de profissionais das áreas acadêmica e corporativa, visando o refinamento do mesmo. Dois pré-testes foram realizados com pequenas amostras das empresas listadas na etapa de estimativa populacional, com o fim de validar o processo e obter um primeiro norteamento do estudo e seus achados. A terceira versão do formulário foi desenvolvida e validada para o início dessa pesquisa. A coleta de dados nas entrevistas pessoais com os produtores amostrados foi conduzida unicamente por um entrevistador em todo o processo, eliminando a possibilidade de erros nessa fase. Esse processo ocorreu identicamente em outras abordagens de enfoque distinto como, por exemplo, em De Araujo et al. (2018a,b,c, 2019).

Um dos eixos abordados nessa ampla pesquisa setorial referiu-se na análise apresentada neste artigo, a qual tratou, especificamente, sobre as matérias-primas à base de madeira em utilização pelos produtores brasileiros de casas de madeira. Portanto, para dimensionar essa utilização dos materiais madeireiros estruturais na construção, a seguinte questão do formulário completo foi considerada neste artigo: “Quais os tipos de madeira e ou dos derivados de madeira utilizados por sua empresa?”.

Essa questão possuiu enfoque qualitativo mediante múltiplas respostas: Tora seca e tratada; Tora úmida; Madeira Maciça Tratada (Tábua e Bloco); Madeira Maciça Beneficiada (Perfis Usinados); Madeira Maciça Verde (Tábua e Bloco); Madeira Maciça Seca (Tábua e Bloco); Madeira Maciça Seca e Aparelhada (Tábua e Bloco); Viga Reforçada Engenheirada; Viga Mista “I”; Chapa de Fibrocimento; Madeira Laminada Colada Cruzada - CLT; Madeira Laminada Colada - MLC; Madeira Microlaminada - LVL; Compensados e Painel de Partículas Orientadas - OSB. Sendo assim, somente aqueles produtos estruturais e disponíveis no Brasil foram contabilizados.

Os dados coletados junto aos empresários foram convertidos para valores percentuais, visando mensurar a margem de erro, cujo cálculo foi obtido junto ao software online de amostragem estatística *Raosoft Sample Size Calculator* (Raosoft, 2004), a um grau de confiança e uma distribuição resposta

de 95% e 50%, respectivamente. Essa margem de erro foi indicada e discutida a seguir, na seção dos resultados, com base nas prescrições da literatura para estudos setoriais, visando validar a pesquisa. Essa estratégia foi similarmente utilizada em De Araujo et al. (2018a,b,c, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a conclusão da estimativa da população brasileira dos produtores de casas de madeira, uma amostragem foi delineada para mensurar a utilização dos tipos de madeira e seus derivados por parte desse setor produtivo (Tabela 1).

A amostragem realizada analisou 107 dos 210 produtores de casas de madeira (Tabela 1), o que proporcionou uma consideração de 50,95% da população geral estimada desse setor brasileiro. A quantidade amostrada se localizou em três das cinco regiões territoriais do país. Essa macrorregião foi representada pela tríade Sudeste/Sul/Centro-Oeste, a qual compreendeu 98,10% do total populacional estimado para esse setor produtivo nacional.

A Tabela 1 demonstrou a população total do setor e a amostragem contemplada nesta pesquisa com a sua respectiva margem de erro. Mediante a amostra estudada, essa margem de erro foi aferida, o que retratou, a partir de um comparativo com as prescrições de Pinheiro et al. (2011), se situar em um ponto abaixo do nível aceitável de 10% e sensivelmente próximo ao nível ideal de 5%.

Tabela 1. População dos produtores de casas de madeira no Brasil: estimativa geral e amostragem.

Table 1. Timber house producers in Brazil: general estimation and sampling.

Resultados	Quantidade (Companias)	Margem de erro (%)
Estimativa Geral da População Setorial*	210	–
Amostra Obtida nas Entrevistas*	107	6,65 (±3,325)
Prescrição aceitável**	66	10% (±5,0)
Prescrição ideal**	136	5% (±2,5)

* valores desta abordagem e De Araujo et al. (2018a,b,c, 2019); ** valores prescritos por Pinheiro et al. (2011).

No âmbito do questionamento sobre os tipos de matérias-primas madeireiras em oferta nos produtores de casas de madeira no Brasil, o perfil de resposta das empresas avaliadas expressou um

panorama definido para o uso de materiais com um propósito especificamente estrutural, isto é, concentrado na madeira serrada e nos derivados de madeira estruturais (Figura 5).

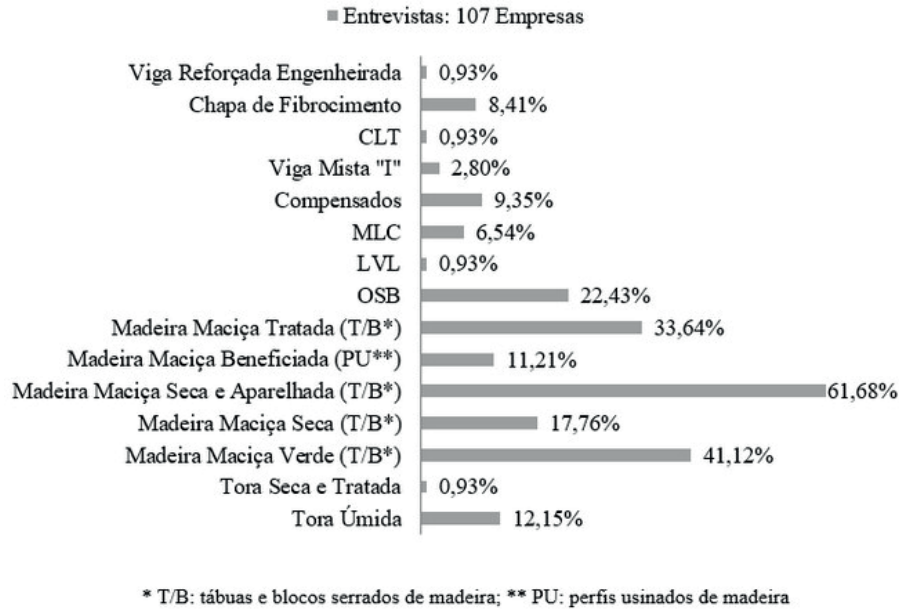


Figura 5. Tipos de matérias-primas madeireiras utilizadas pelo setor produtivo brasileiro de casas de madeira.

Figure 5. Types of wood-based raw materials used by the Brazilian production sector of timber houses.

Nas suas cinco variações (verde, seca, tratada, beneficiada e seca e aparelhada), a Madeira Maciça Serrada, em blocos ou tábuas, demonstrou ter uma maior popularidade no setor de casas de madeira (Figura 5). Nesse contexto, a Madeira Maciça Seca e Aparelhada indicou ser o material madeireiro com maior uso, sendo presente em ao menos 3/5 das empresas avaliadas. Essa variedade com maior nível de beneficiamento possui maior presença devido às possibilidades de padronização dimensional e do teor de umidade, em comparação àquelas variantes de menor processamento. O processo de secagem da madeira torna-a, de acordo com Martins (1988) e Jankowsky (1990), “mais eficiente, estável e resistente para a construção”. O procedimento de alisamento para a retirada das imperfeições e dos defeitos superficiais gera uma matéria-prima com maior qualidade para a adesão, fixação e encaixe de peças estruturais. A melhoria dessas três condições básicas confere uma maior qualidade da edificação, por exemplo, para um melhor encaixe entre os blocos da parede das casas de toras ou para uma interface “esqueleto-painel” mais precisa nas habitações em entramado leve.

A Madeira Maciça Verde, caracterizada por ser uma matéria-prima bruta e grosseira, ainda é

bastante consumida nesse setor, alcançando o segundo lugar em popularidade, com mais de 2/5 do público amostrado (Figura 5). Muito comum nas técnicas construtivas de casa de tábua e mata-junta, casa de tábuas horizontais empilhadas com macho-e-fêmea e casa de tábuas pregadas (verticais e horizontais) conforme sugeriram De Araujo et al. (2019), esse material é altamente consumido por sua maior facilidade de usinagem e menor custo de aquisição. Portanto, muitas das empresas avaliadas optam por beneficiar tal material em suas plantas fabris, secar em alguns casos e enviar a madeira já pronta para um ajuste fino e montagem da habitação no canteiro de obras. Com isso, essas empresas obtêm um menor gasto com processos de secagem controlada em estufa dessa madeira maciça verde, cuja secagem é realizada, na maior parte das vezes, ao ar livre. Geralmente, esse material é seco ao longo das etapas produtivas como, por exemplo, beneficiamento, estocagem, transporte e montagem das peças ainda verdes. No caso das casas de tábuas horizontais com macho-e-fêmea, Casema (1988) indicou que essa secagem das peças auto encaixáveis de madeira nativa verde também ocorre ao longo da montagem e da ocupação da moradia.

Usualmente oriunda de espécies exóticas, a madeira maciça tratada possui processamento, enquanto verde (ou úmida), que inclui as etapas de beneficiamento fabril e preservação, com a finalidade do emprego estrutural em ambientes externos. Esse exemplo atingiu o terceiro maior uso nesse setor, alcançando um público empresarial superior a 1/3 (Figura 5). Essa oferta mais evidente é justificada por suas vantagens de maior durabilidade em aplicações mais severas como a agrícola e a construtiva conforme sugeriu Jankowsky (1990).

Outras duas categorias de matérias-primas secas, a madeira maciça seca e a madeira maciça beneficiada também tiveram consumos perceptíveis, alcançando perto de 18% e 11% das empresas, respectivamente (Figura 5). A madeira maciça seca possui um caráter mais grosseiro do ponto de vista superficial, sendo direcionada para as empresas que pretendem usinar e beneficiar integralmente seus elementos construtivos estruturais em plantas industriais próprias. Por outro lado, a madeira maciça beneficiada se relaciona com as empresas que demandam perfis usinados para a produção de casas de madeira integralmente pré-fabricadas, isto é, focadas na operação de montagem em canteiros de obras.

No que diz respeito ao uso de toras (madeira roliça maciça), a amostragem revelou que cerca de 1/8 dessas empresas avaliadas demandam toras úmidas (verde), visto que menos de 1% consome toras tratadas quimicamente em processos de preservação (Figura 5). Apesar do uso direcionado para as técnicas construtivas de *log-home*, pilar-viga e do tipo paliteiro conforme indicaram De Araujo et al. (2019), esses materiais também acusam certa popularidade. No caso das toras verdes, essa oferta se baseia na utilização de espécies nativas, mais resistentes, enquanto que as toras tratadas consomem, em especial, as espécies exóticas. De modo geral, esse menor consumo de toras de madeira implica que o setor produtivo de casas de madeira estudado é dependente das serrarias, em particular as voltadas para o primeiro desdobro, devido a maior utilização de materiais serrados (Figura 5).

O painel de OSB consistiu no principal derivado de madeira em oferta pelas empresas produtoras de casas de madeira no Brasil, superando a presença em 1/5 das empresas (Figura 6). Esse alto índice é resultado da utilização do mesmo nas variedades da técnica construtiva de *woodframe* (balão, plataforma, misto e

modular), conforme salientaram De Araujo et al. (2016, 2019). A maior popularidade desse painel estrutural à base de madeira induz que “o mercado de casas de madeira está se voltando para tecnologias construtivas mais modernas”, tal como já previu De Araujo et al. (2016).

Outro painel de vedação estrutural, o compensado, se situou como o segundo derivado mais popular, com um emprego em quase 1/10 da amostra avaliada (Figura 5). Similar ao OSB, o painel compensado é aplicado como vedação em *woodframes*. Essa aptidão posiciona-o como um substituto direto do OSB, em condições de escassez e disponibilidade, ou ainda, de um preço mais elevado por parte do painel de lascas orientadas em relação ao compensado. As chapas de fibrocimento alcançaram o terceiro posto de maior utilização, dentre os painéis derivados estruturais, para esse setor estudado. Essas chapas de fibras celulósicas minerais são aplicadas, usualmente, em vedações de áreas molhadas – banheiros, lavabos, lavanderias e cozinhas – de algumas técnicas de construção em madeira.

A Madeira Laminada Colada - MLC e as vigas “I” se fazem presentes em 7 e 3% das empresas, respectivamente. Nesse caso, essas duas soluções estruturais para o sustento das casas consistiram nas vigas derivadas de madeira com maior emprego no setor. As vigas reforçadas e as de LVL indicaram uma concentração pontual na amostra realizada, alcançando menos de 1% cada (Figura 5). Uma empresa indicou utilizar a Madeira Laminada Colada Cruzada - CLT (Figura 5).

O aumento do uso da Madeira Laminada Colada poderia ser estimulado a partir de propostas de certificação desse material no âmbito brasileiro, como fora proposto por Furtado e Terezo (2014), para o estabelecimento de padrões, o cumprimento das normas e a obtenção de subsídios industriais com o intuito de ampliar, nacionalmente, a produção e o consumo dessa matéria-prima derivada.

Alguns dos derivados de madeira estruturais não foram declarados em uso, pelas empresas avaliadas, na construção das casas de madeira no Brasil (Figura 5): PSL, OSL, LSL, viga *flitch*, viga tipo caixão e compensado sarrafeado. Por outro lado, nenhum derivado de madeira com fins não-estruturais foi declarado em uso nessa amostragem como, por exemplo, MDP, EGP, MDF, chapa dura, painel isolante, *wafboard* e aglomerado.

Assim, um cenário mercadológico promissor se faz presente no Brasil, pois muitos desses compósitos à base de madeira existentes no mundo ainda não têm sido consumidos pelos produtores de casas de madeira, diferentemente de muitos países desenvolvidos, o que favorece na futura inserção e exploração comercial junto a esse e outros grupos setoriais.

4 CONCLUSÕES

As empresas produtoras de casas de madeira no Brasil declararam utilizar exclusivamente matérias-primas madeireiras estruturais, incluindo, a madeira maciça serrada estrutural e os derivados de madeira, isto é, esse público amostrado acenou não utilizar quaisquer derivados não-estruturais.

A Madeira Maciça Serrada apresentou uma maior popularidade dentre todos os materiais declarados, com um maior uso para a variedade de madeira maciça beneficiada, cuja característica envolve um maior beneficiamento industrial e, conseqüentemente, um maior valor agregado. Outras quatro variedades de madeira sólida serrada também apontaram usos perceptíveis.

A segunda opção mais usual foi aquela com menor índice de industrialização, isto é, a Madeira Maciça Verde, cuja característica mais grosseira desse material é resultado da ausência dos processos de secagem e beneficiamento. O seu uso intenso se relaciona com um menor custo de aquisição e uma maior facilidade da usinagem, fatores próprios para aquelas empresas que desejam manufaturar esse material em pré-fabricados de baixo custo, embora com qualidade inferior e instabilidade dimensional, ou então, para as empresas que possuem linhas de secagem e beneficiamento em planta fabril.

Dentre os derivados de madeira estruturais mais populares no setor brasileiro de habitações em madeira, o Pannel de Partículas Orientadas - OSB e o compensado foram as duas principais fontes de matéria-prima madeireira em uso na categoria de chapas de vedação. Em relação ao segmento das vigas, a Madeira Laminada Colada - MLC e as vigas "I" foram os derivados lineares mais populares.

Isso posto, as duas hipóteses listadas foram confirmadas no levantamento setorial realizado. O Brasil já concentra uma utilização perceptível dos compósitos à base de madeira, apesar de sua menor

popularidade na construção civil, especialmente, acerca dos derivados não-estruturais. Por sua vez, a madeira maciça verde ainda se apresenta como um insumo bastante popular, apesar de sua rusticidade, mesmo em um período de desenvolvimento tecnológico da madeira mais avançado, inclusive no país. Tais condições sugerem um estágio bastante promissor para o consumo e a produção desses insumos. Os resultados poderão auxiliar no melhor entendimento do uso das matérias-primas à base de madeira e suas relações com o setor produtivo brasileiro de casas de madeira, bem como balizar pesquisas a partir das efetivas potencialidades de mercado apresentadas nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAI, Z. Wood composite laminates. In: NICOLAIS, L.; BORZACCHIELLO, A. (Eds.). **Wiley encyclopaedia of composites**. 2. ed., Hoboken, EUA: John Wiley & Sons, 2012. v. 5. p. 3204-3211.

CALIL NETO, C. et al. Edge glued panels grading through transversal vibration testing. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 3, p. 97-102, 2016.

CARVALHO, A.M. Caracterização de painéis LVL obtidos da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* do Estado de São Paulo. In: LAHR, F.A.R. (Ed.). **Produtos derivados da madeira**. 1 ed., São Carlos, SP: EESC-USP, 2008. p. 1-28.

CASEMA. **Manual de montagem**. Bom Jesus dos Perdões, SP: Casema, 1998. 47p.

CRASTO, R.C.M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing**. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

CRESPELL, P.; GASTON, C. **The value proposition for cross-laminated timber**. Québec, CA: FPInnovations, 2011. 21p.

DE ARAUJO, V.A. et al. Woodframe: light framing houses for developing countries. **Revista de la Construcción**, v. 15, n. 2, p. 78-87, 2016.

- DE ARAUJO, V.A. et al. Machinery from Brazilian wooden housing production: size and overall obsolescence. **BioResources**, v. 13, n. 4, p. 8775-8786, 2018a.
- _____. et al. Economic and labor sizes from the Brazilian timber housing production sector. **Acta Silvatica et Lignaria Hungarica**, v. 14, n. 2, p. 95-106, 2018b.
- _____. et al. Difficulties of wooden housing production sector in Brazil. **Wood Material Science & Engineering**, p. 1-10, 2018c.
- _____. et al. Disponibilidad de las técnicas constructivas de habitación en madera, en Brasil. **Revista de Arquitectura**, v. 21, n. 1, p. 68-75, 2019.
- DESTEFANO, J.; MACDONALD, J. **Design guides for flitch plate beams and lally columns**. Connecticut, EUA: Structural Engineers Coalition, 1997. 9p.
- FITTON, M.; WALFORD, B. Hardboard webbed wood I-beams. **NZ Timber Design Journal**, v. 7, n. 3, p. 3-14, 1998.
- FURTADO, F.R.C.; TEREZO, R.F. Proposta de certificação de produtos em madeira laminada colada. **Revista do Instituto Florestal**, v. 26, n. 1, p. 117-125, 2014.
- GAGNON, S.; PIRVU, C. **CLT handbook: cross-laminated timber**. Québec, CA: FPInnovations, 2011. 594p.
- GONÇALVES, M.T.T. **Processamento da madeira**. Bauru, SP: DCX/USC, 2000. 245p.
- HOADLEY, R.B. **Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology**. Newtown, USA: Taunton Press, 2000. p. 1-280.
- IWAKIRI, S.; KEINERT Jr., S.; MENDES, L.M. Painéis de madeira compensada. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba, PR: FUPEF, 2005. p. 87-122.
- JANKOWSKY, I.P. Fundamentos de preservação de madeiras. **Documentos Florestais**, n. 11, p. 1-12, 1990.
- KUTNAR, A.; MUTHU, S.S. **Environmental impacts of traditional and innovative forest-based bioproducts**. Berlim: Springer, 2016. 248 p.
- LATREILLE, A.J. et al. Propriedades físico-mecânicas em madeira de *Dypterix alata*, *Astronium graveolens*, *Bowdicha virilioides* e *Eucalyptus grandis*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 30, n. 2, p. 143-150, 2018.
- LEICHTI, R.J.; FALK, R.H.; LAUFENBERG, T.L. Prefabricated wood composite I-beams: a literature review. **Wood and Fiber Science**, v. 2, n. 1, p. 62-79, 1990.
- LYONS, A. **Materials for architects & builders**. 4 ed. Oxford, UK: Elsevier, 2010. 420p.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. Madison, EUA: FPL, 1993. 681p.
- _____. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, v. 46, n. 2, p. 19-26, 1996.
- MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília, DF: IBDF/DPq-LPF, 1988. 52p.
- NENNEWITZ, I. et al. **Manual de tecnologia da madeira**. 2. ed., São Paulo, SP: Editora Blucher, 2008. 354p.
- NICHOLLS, D. Alaska birch for edge-glued panel production – considerations for wood products manufacturers. **General Technical Report**, 820, p. 1-25, 2010.
- PINHEIRO, R.M. et al. **Pesquisa de Mercado**. Rio de Janeiro, RJ: Editora FGV, 2011. 154p.
- RAOSOFT. **Raosoft Sample Size Calculator**. Seattle, USA: Raosoft, 2004. Disponível em: <<http://www.raosoft.com/samplesize.html>>. Acesso em: 12 jun. 2020.
- SHMULSKY, R.; JONES, P. **Forest products & wood science: an introduction**, 6 ed. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011. 477p.

STARK, N.M.; CAI, Z.; CARLL, C. Wood-based composite materials: panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composite materials. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Centennial Edition, Madison, EUA: FPL, 2010. p. 1-28.

STRUCTURAL TIMBER ASSOCIATION. Engineered wood products and an introduction to timber structural systems. **Engineering Bulletin**, v. 2, p. 1-7, 2014. Disponível em: <<http://www.structuraltimber.co.uk/assets/InformationCentre/timberframeeb2.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2020.

TEIXEIRA, D.E.; MELO, J.E.; ANACLETO, J.E. Testing quality of compression bonding to shearing on six brazilian hardwood species. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 393-401, 2014.

THALLON, R., **Graphic guide to frame construction**. 3 ed. Newtown, EUA: Taunton Press, 2008. 258p.

VIDAL, A.C.F.; HORA, A.B. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, n. 40, p. 323-384, 2014.

VILLAS-BÔAS, B.T. et al. Avaliação dos efeitos de diferentes dosagens de água/cal na resistência à compressão axial de compósitos de madeira-cimento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 1, p. 1-10, 2017.

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Centennial Edition, Madison, USA: FPL, 2010. p. 1-18.

ZENID, G.J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed., São Paulo, SP: IPT, 2009. 103p.

ZERBE, J.I.; CAI, Z.; HARPOLE, G.B. An Evolutionary History of Oriented Strandboard (OSB). **General Technical Report**, 236, p. 1-6, 2015.

ZHANG, H.; LU, X. Modeling of the elastic properties of laminated strand lumber. **Wood Research**, v. 59, n. 1, p. 1-10, 2014.