Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]EFEITOS DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS OSB E MADEIRA COMPENSADO PARA LIGHT STEEL FRAME

Julie Anne Braun
Universidade Presbiteriana Mackenzie| São Paulo, SP | julie.braun@protonmail.com

Max Junginger
Universidade de São Paulo| São Paulo, SP | maxjgg@gmail.com

Antônio D. Figueiredo
Universidade de São Paulo| São Paulo, SP | antonio.figueiredo@usp.br

Ricardo J.E. Andrade
Universidade Presbiteriana Mackenzie| São Paulo, SP | ricardo.andrade@mackenzie.br

Renata Monte
Universidade de São Paulo| São Paulo, SP | renata.monte@usp.br

RESUMO

A crescente adoção de sistemas construtivos industrializados, como o *Wood Frame* e o *Light Steel Frame* (LSF), tem impulsionado o uso de painéis estruturais à base de madeira, especialmente o *Oriented Strand Board* (OSB). Entretanto, esses materiais podem perder desempenho quando sujeitos à ação de umidade. Este estudo compara o comportamento mecânico de painéis OSB e compensado naval submetidos a diferentes condições: padrão (20 °C e 65% URA), seca, saturada por imersão e saturada com ciclo de fervura. Foram realizados ensaios de tração, resistência à flexão e módulo de elasticidade. Os resultados mostram perdas expressivas de comportamento mecânico nos painéis OSB sob ação da água, enquanto os painéis compensados apresentaram melhor estabilidade estrutural. Tais resultados sustentam a viabilidade técnica do uso do compensado em sistemas LSF, especialmente quando associado a estratégias construtivas que garantam estanqueidade, durabilidade e desempenho higrotérmico em conformidade com as normas regulatórias vigentes.

Palavras-chave: madeira compensada, OSB; light steel frame, umidade, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The increasing implementation of industrialized construction systems, such as Wood and Light Steel Frame (LSF), has led to a notable rise in the utilization of wood-based structural panels, particularly Oriented Strand Board (OSB). Despite their mechanical and functional advantages, these materials exhibit high hygroscopic susceptibility, which compromises their performance under moisture exposure. This study aims to elucidate the comparative mechanical behavior of OSB and plywood panels when subjected to distinct conditions: standard (20 °C and 65% RH), dry, immersion-saturated, and saturated with boiling cycle. Tensile strength, static bending resistance, and modulus of elasticity tests were performed. The findings indicated substantial deterioration in the mechanical performance of OSB panels when exposed to water, while plywood panels exhibited enhanced structural stability. These findings support the technical feasibility of plywood for use in LSF systems, particularly when combined with construction strategies that ensure watertightness, durability, and hygrothermal performance aligned with current regulatory standards.

Keywords: plywood, OSB, light steel frame, moisture content, mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

A interferência da umidade nas propriedades mecânicas da madeira é amplamente reconhecida e sistematicamente investigada na literatura técnico-científica (BERGLUND; ROWELL, 2005; LOGSDON, 1998). Embora o conhecimento sobre os mecanismos de degradação higroscópica em madeiras maciças tenha avançado consideravelmente, permanece limitada a compreensão aprofundada dos efeitos da variabilidade higrotérmica sobre materiais lignocelulósicos, como os painéis estruturais de *Oriented Strand Board* (OSB) e de madeira compensada. Esta lacuna é particularmente crítica em aplicações relacionadas à

[1]BRAUN, J.A.; JUNGINGER, M.; FIGUEIREDO, A.D.; ANDRADE, R.J.E; MONTE, R. Efeitos da umidade nas propriedades mecânicas dos painéis OSB e madeira compensado para light steel frame. In: V WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

vedação estrutural de sistemas construtivos industrializados, que exigem desempenho mecânico e durabilidade sob exposição a agentes ambientais agressivos.

No cenário contemporâneo da construção civil, destaca-se a ascensão de sistemas industrializados a seco, como o Light Steel Frame (LSF) e o Wood Frame, cujo apelo reside na racionalização de recursos, celeridade executiva e redução de resíduos (FARRIELO DE CAMPOS, 2014; VELJKOVIC; JOHANSSON, 2007).

Embora o OSB apresente desempenho mecânico adequado para funções de fechamento e contraventamento em edificações (BARRETO DE GÓES; ALINE DE JESUS RIBAS; DIAS, 2021; BERGLUND; ROWELL, 2005), sua a porosidade intrínseca e a sensibilidade dos adesivos à umidade constituem fatores críticos para a estabilidade dimensional e a integridade estrutural do painel (AGGARWAL et al., 2022; ROWELL et al., 2005; WILLIAMS, 2005). A exposição prolongada à água líquida e à alta umidade pode induz processos de colapso microestrutural, degradação de adesivos, redução da rigidez e da resistência mecânica, bem como incremento na condutividade térmica (BERGLUND; ROWELL, 2005; SAEED; MALEN; KRISHNAMURTI, 2024).

Estudos recentes indicam que o aumento do teor de umidade resulta em elevação da condutividade térmica, comprometendo o desempenho térmico das vedações (BORODINECS et al., 2025; SAEED; MALEN; KRISHNAMURTI, 2024). O emprego de técnicas avançadas de análise tem permitido estimar com acurácia a resposta higrotérmica de sistemas compostos em *wood-frame* (AGGARWAL et al., 2022).

Neste contexto, o presente estudo propõe-se a investigar comparativamente os efeitos da umidade nas propriedades microestruturais e macroscópicas de painéis OSB e de compensado naval, considerando sua aplicação como elementos de vedação em sistemas LSF. A pesquisa baseia-se em ensaios experimentais com o objetivo de quantificar as perdas de desempenho mecânico e térmico decorrentes de variações no teor de umidade. As análises seguem as metodologias indicadas pela NBR 15316-2 (ABNT, 2019), bem como da NBR ISO 2074 (ABNT, 2012), que rege as especificações técnicas do compensado estrutural.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Painéis de fibra de média densidade para *Light Steel Frame*

O sistema construtivo LSF representa um segmento consolidado da industrialização da construção civil, caracterizado por sua racionalização produtiva, leveza estrutural e alta eficiência na montagem. Composto por perfis de aço galvanizado formados a frio e fechamentos realizados com painéis delgados de materiais como OSB, drywall, placas cimentícias ou PVC rígido (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016), o LSF vem sendo amplamente difundido no contexto brasileiro, especialmente nas regiões Sul e Sudeste (CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, 2018; WOLFART, 2016). No escopo do LSF, os painéis de OSB têm papel central como componentes de fechamento externo e contraventamento estrutural. Já no fechamento interno, é comum a utilização de gesso acartonado. O uso de painéis de madeira compensada, por sua vez, desponta como alternativa técnica relevante(CARRASCO et al., 2021).

O OSB é produzido por meio da aglutinação de lascas de madeira alongadas, dispostas em camadas ortogonais e fixadas com resinas termoestáveis como PMDI e fenol-formaldeído (APA, 2017). A disposição multicamadas representada na Figura 1, caracterizada pela orientação alternada das tiras de madeira nas diferentes lamelas do painel, é responsável por conferir ao OSB desempenho mecânico otimizado nas direções principais de solicitação estrutural, além de promover estabilidade dimensional mesmo sob variações higrotérmicas. A Figura 2, por sua vez, revela a morfologia superficial típica desses painéis, evidenciando a organização não uniforme e visivelmente granular das partículas lignocelulósicas, aspecto que traduz a heterogeneidade composicional e o caráter engenheirado do material (APA, 2011).

Figura 1: Representação esquemática da estrutura interna do painel OSB.

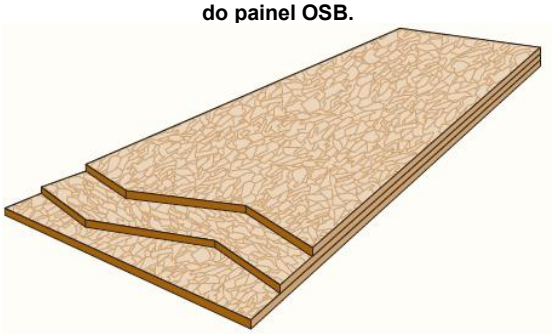


Figura 2: Vista real de um painel OSB com fibras orientadas durante o processo de fabricação.



Fonte: The Engineered Wood Association- APA (2011)

A norma EN 300 (2006) estabelece a classificação funcional dos painéis OSB em quatro categorias distintas, conforme sintetizado na Quadro 1. Essa classificação considera o desempenho estrutural dos painéis em diferentes condições ambientais, sendo que a Classe 3 representa a tipologia mais indicada para aplicações externas em sistemas LSF, devido a sua maior resistência à umidade e estabilidade frente a ciclos higrotérmicos. Tal recomendação está prevista nas diretrizes nacionais para sistemas construtivos industrializados (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

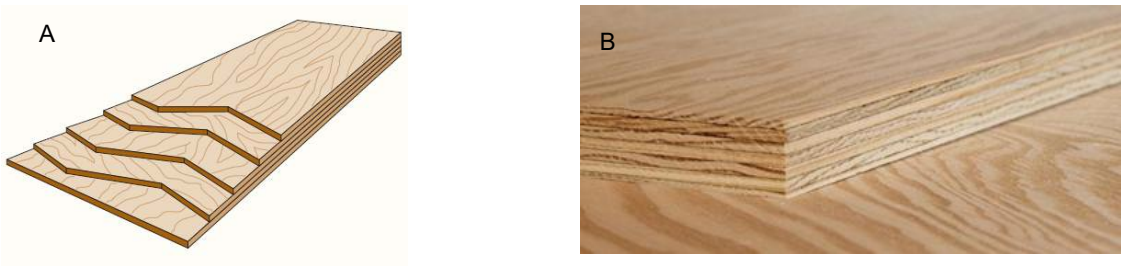
Quadro 1: Classes dos painéis OSB segundo a norma EN 300/2006

CLASSE	DESCRIÇÃO
1	Placas de uso geral sem carga, e placas para montagem de interiores para usar em condições secas
2	Placas estrutural para uso em condições secas
3	Placas estrutural para uso em condições úmidas
4	Placas estrutural pesada para uso em condições úmidas

Fonte: EN 300 - Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, Classification and Specifications, 2006 (ADAPTADO)

Apesar dos tratamentos para resistência à umidade, os painéis OSB não são impermeáveis e apresentam suscetibilidade à delaminação e à perda de rigidez quando submetidos à exposição prolongada à água líquida ou vapor. Diferentemente do OSB, os painéis de madeira compensada resultam da sobreposição de lâminas de madeira com grã alternada a 90° (Figura 3), o que confere estabilidade dimensional e desempenho estrutural satisfatório em condições de flexão e cisalhamento (CARRASCO et al., 2021). Sua menor suscetibilidade a deformações induzidas por umidade está associada ao controle das tensões internas, obtido no processo de prensagem (APA, 2011). As diretrizes estabelecidas pelas normas NBR 15316-2 (ABNT, 2019) e NBR 9533 (ABNT,2021) expõem requisitos de desempenho destes painéis.

Figura 3: Estrutura interna de painéis compensados: (A) Ilustração esquemática da disposição cruzada das lâminas de madeira em ângulos retos (B) Vista real de um painel compensado.



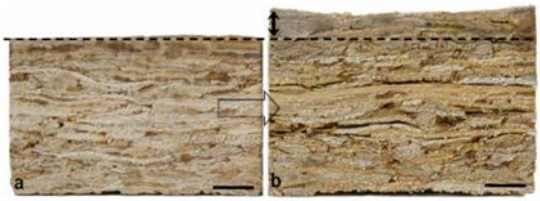
Fonte: The Engineered Wood Association -APA (2010)

2.2 Água como agente de degradação

A higroscopicidade inerente à madeira a torna particularmente sensível à umidade ambiental, resultando em alterações físico-mecânicas relevantes nos painéis aplicados em LSF (AGGARWAL et al., 2022). A absorção de água (líquido ou vapor) pode levar a fenômenos de inchamento (Figura 4), perda de rigidez e delaminação (ROWELL, 2005). A água presente nos painéis pode estar quimicamente ligada às paredes celulares (água

ligada) ou livre nas cavidades luminares.

Figura 4: Aumento volumétrico de um painel de OSB provocado pela ação umidade



Fonte: Logsdon (1998)

O inchamento manifesta-se de forma anisotrópica, sendo mais pronunciado na direção tangencial, seguido da radial, e praticamente nulo na direção axial. Esse comportamento se deve à disposição estrutural das microfibrilas e regiões cristalinas da madeira, que restringem as variações dimensionais ao longo do eixo longitudinal das fibras (ROWELL et al., 2005), o que pode comprometer a estabilidade dimensional dos sistemas construtivos LSF (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

2.3 Propriedades mecânicas e desempenho estrutural

As propriedades mecânicas (resistência à tração, compressão e flexão) estão intrinsecamente relacionadas à orientação das fibras, densidade do painel, tipo e distribuição dos adesivos e, além do teor de umidade. A anisotropia natural da madeira confere desempenho superior nas direções paralelas às fibras, sendo a tração perpendicular (transversal) a mais suscetível à falha estrutural (ROWELL, 2005). Carrasco et al. (2021), evidenciaram que os painéis de madeira compensada apresentaram módulos de elasticidade mais elevados que os painéis OSB, com deformações reduzidas e maior estabilidade mecânica mesmo após condicionamento sob umidade. Tais características o tornam particularmente eficaz para funções de contraventamento em sistemas *Light Steel Frame*, onde a ação diafragma do painel depende diretamente de sua rigidez à flexão, qualidade da ancoragem e do sistema de fixação. A Tabela 1 apresenta os valores médios de algumas propriedades relevantes dos painéis de madeira compensada

.

Tabela 1-Propriedades mecânicas típicas de painéis de madeira compensada

PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA	
Propriedade	Valor
Massa específica	0,4 - 0,8 g/cm³
Expansão higroscópica (30%-90% URA)	0,15%
Expansão térmica	$6.1x10^{-6}$ m/mK
Resistência à flexão	21 - 48 MPa
Módulo de elasticidade	6,9 - 13 GPa
Resistência à tração	10 -28 MPa
Resistência à compressão	21 -35 MPa

Fonte: Berglund and Rowell, 2005 (Adaptado).

2.4 Processos de proteção e impermeabilização

A durabilidade dos painéis empregados em sistemas LSF está intrinsecamente vinculada à adoção de técnicas construtivas eficazes contra a ação da água. A Diretriz Técnica SINAT 003 é imprescindível assegurar a proteção dos perfis metálicos e dos painéis estruturais contra a umidade ascendente e a ação da água de lavagem, por meio do uso de sistema de impermeabilização, sobreposição de revestimentos e distanciamento do nível do piso externo acabado (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016; WOLFART, 2016). As Figuras 5 e 6 apresentam exemplos de soluções construtivas destinadas a prevenir o acesso de água aos fechamentos verticais em sistemas LSF.

Figura 5- Detalhe esquemático da impermeabilização externa e interna em sistemas LSF

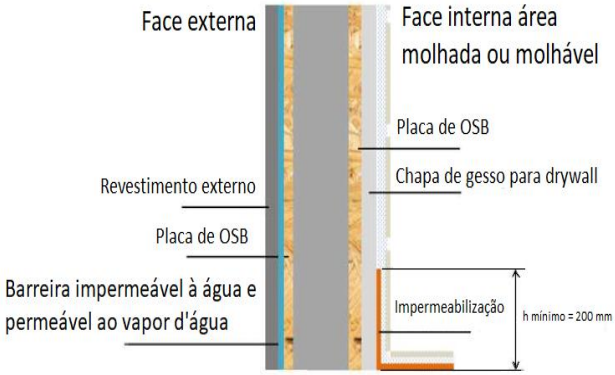
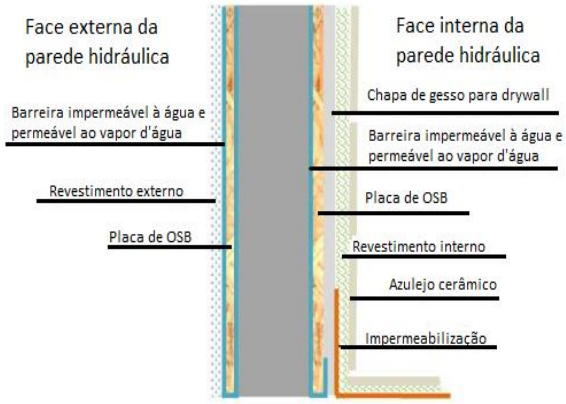


Figura 6- Detalhamento esquemático da impermeabilização interna em paredes hidráulicas do sistema LSF



Fonte: Diretriz 003- SINAT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016)

A Figura 5 ilustra o detalhamento de impermeabilização voltado à face externa da edificação, evidenciando a aplicação de membranas impermeáveis à água e simultaneamente permeáveis ao vapor d'água entre a placa de OSB e o revestimento externo. Tal configuração pode auxiliar na difusão do vapor gerado internamente sem comprometer a estanqueidade à água líquida. A Figura 6, por sua vez, apresenta o detalhamento construtivo aplicado à face interna de paredes hidráulicas ou expostas a elevada umidade. Nesta representação esquemática, observa-se a presença de barreiras impermeáveis à água e permeáveis ao vapor, estrategicamente posicionadas entre o painel de OSB e os revestimentos internos, como placas de gesso para *drywall* e acabamentos cerâmicos. A finalidade dessa barreira é impedir a penetração de vapor d'água oriundo de ambientes molhados, reduzindo a probabilidade de condensação interna e, consequentemente, a delaminação e perda de desempenho mecânico dos painéis.

Embora os painéis utilizados em sistemas LSF sejam frequentemente tratados com preservantes, conforme orienta a ABNT NBR 16143:2013 — que estabelece os produtos preservantes recomendados para diferentes aplicações e tipos de madeira industrializada, incluindo OSB e compensado — tais medidas não asseguram, por si só, desempenho satisfatório frente à exposição prolongada à umidade (CAMPOS et al., 2017). Neste sentido, Yang et al. (2025) evidenciaram que a aplicação de um agente impermeabilizante bioativo — composto por parafina encapsulada em lignossulfonato (LEP) — proporcionou redução de até 63,2% no inchamento por espessura e mais de 22% na absorção hídrica de painéis OSB, sem prejuízo às propriedades mecânicas. Mesmo após imersão prolongada, os autores observaram preservação da coesão interna e da estabilidade dimensional, com resistência à flexão e módulo de elasticidade superiores aos limites normativos internacionais.

O uso de mantas asfálticas, selantes e membranas impermeáveis ao vapor são soluções de impermeabilização externas aos painéis que colaboram para mitigar a penetração de água (COSTELLO; VINCENT K., 2020; APA, 2017). Dessa forma, a compreensão integrada das propriedades físico-mecânicas dos painéis frente às condições higrotérmicas é imprescindível para sua correta especificação em sistemas LSF, garantindo o atendimento às exigências normativas de estanqueidade, desempenho térmico e longevidade da edificação.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Materiais e métodos

Este estudo teve por objetivo analisar o comportamento mecânico de painéis estruturais de OSB e madeira compensada, empregados como elementos de vedação em sistemas LSF, sob quatro diferentes condições higrotérmicas que simulam ambientes de exposição real. As quatro condições avaliadas foram: (i) seca, obtida pela exposição dos corpos de prova a 103 °C por 24 horas; (ii) padrão, correspondente ao equilíbrio

higroscópico a 20 °C e 65% de umidade relativa; (iii) saturada, por imersão dos corpos de prova em água a temperatura ambiente por 24 horas; e (iv) degradada, simulando envelhecimento acelerado, mediante fervura em água por 120 minutos, seguida de resfriamento e secagem controlada.

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 15316-2 (ABNT, 2019). Foram realizados ensaios de tração perpendicular às fibras e de flexão em três pontos, utilizando máquina universal com controle automatizado de carga e deformação.

Para o ensaio de tração perpendicular, foram extraídos corpos de prova com dimensões de 50 mm × 50 mm, conforme especificado no Anexo J da NBR 15316-2 (ABNT, 2019). As amostras foram coladas entre blocos metálicos e submetidas à tração até ruptura, observando-se o tempo prescrito de (60 ± 30) segundos. A resistência à tração (σ) foi determinada pela equação 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que F representa a carga máxima aplicada (N) e A a área da seção transversal (mm²).

Nos ensaios de flexão, os corpos de prova foram extraídos com dimensões de (20 × E + 50) mm × 50 mm, em ambas as direções principais da chapa (longitudinal e transversal), conforme o Anexo K da NBR 15316-2 (ABNT, 2019). A distância entre apoios foi ajustada proporcionalmente à espessura do material — 222 mm para OSB (espessura de 11,10 mm) e 240 mm para compensado (espessura de 12,00 mm) — respeitando a relação normativa de 15 vezes a espessura do painel. A resistência à flexão (σ_f) foi calculada por:

$$\sigma_f = \frac{(3 \times \mathrm{F} \times \mathrm{L})}{(2 \times \mathrm{b} \times \mathrm{h}^2)} \quad \text{(Equação 2)}$$

onde F é a carga máxima (N), L o vão entre apoios (mm), b a largura (mm) e h a espessura (mm). O módulo de elasticidade (E) foi extraído a partir da inclinação da curva carga versus deflexão na fase elástica, utilizando-se a seguinte expressão:

$$E = \frac{(\mathrm{L}^3 \times \mathrm{m})}{(4 \times \mathrm{b} \times \mathrm{h}^3)} \quad \text{(Equação 3)}$$

em que m representa o coeficiente angular da porção linear da curva carga-deflexão.

A Figura 7 apresenta a configuração experimental para os ensaios de flexão nos corpos de prova de OSB (A e B) e madeira compensada (C e D), enquanto a Figura 8 ilustra o procedimento de tração perpendicular, incluindo o sistema de fixação e os aspectos pós-ruptura.

Figura 7- Ensaio de flexão em corpos de prova de chapa de OSB (A e B) e chapa de madeira compensada (C e D)

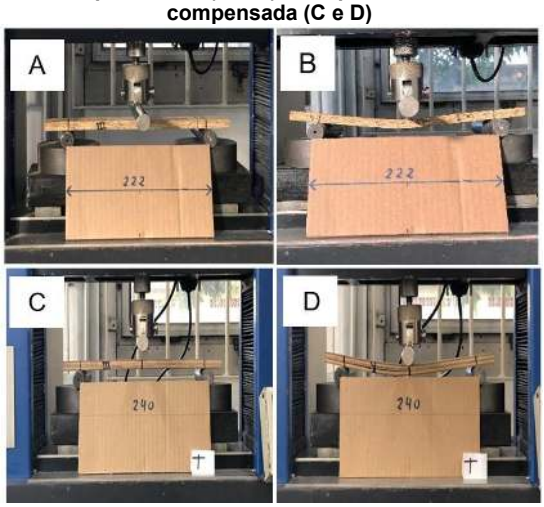
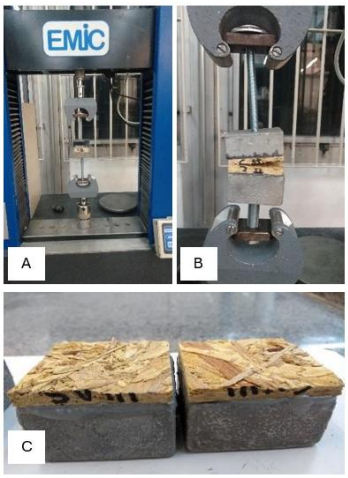


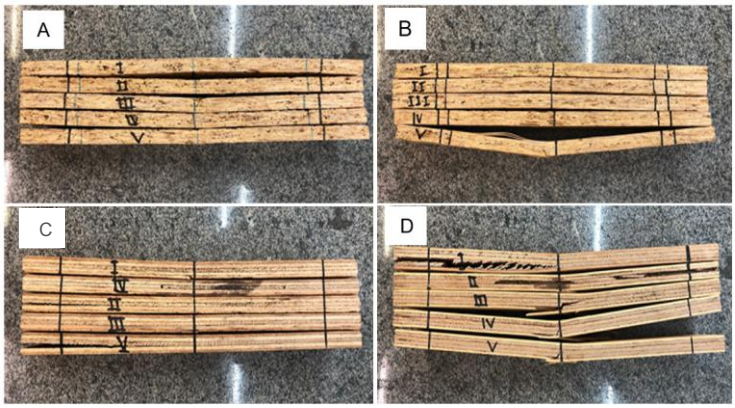
Figura 8- Ilustração da forma de execução do ensaio de tração realizados nas chapas de OSB e madeira compensada (A e B), e corpo de prova após ruptura (C)



4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

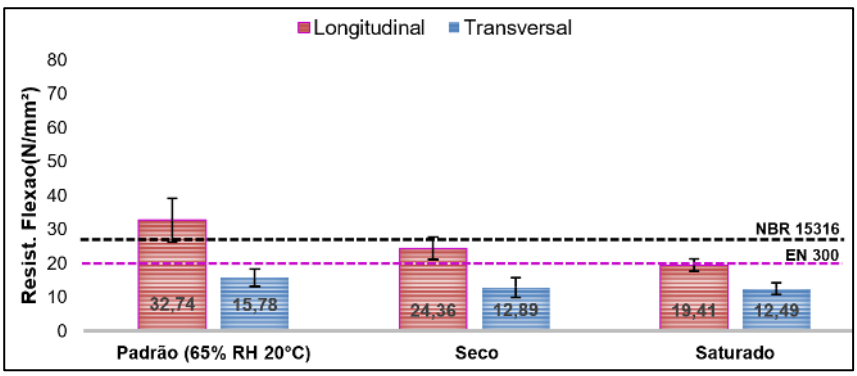
A análise dos ensaios de resistência à flexão, módulo de elasticidade e tração perpendicular permitiu elucidar, com base experimental, o comportamento higromecânico dos painéis estruturais de OSB e madeira compensada submetidos a distintas condições higrotérmicas. A Figura 9 ilustra visualmente os efeitos das tensões de flexão nas direções principais dos corpos de prova, revelando deformações características associadas à anisotropia dos materiais analisados.

Figura 9- Corpos de prova após ensaio de flexão: (A) e (B) OSB nos eixos longitudinal e transversal, respectivamente; (C) e (D) Compensado nos eixos longitudinal e transversal, respectivamente.



A Figura 10 apresenta os resultados de resistência à flexão dos corpos de prova de OSB, nas condições padrão (20 °C e 65% de umidade relativa), seco e saturado. Inicialmente, observa-se que a condição padrão propiciou comportamento mecânico mais eficiente para os painéis OSB, sobretudo na direção longitudinal, com resistência à flexão superior, com média de 32,74 N/mm², superando os requisitos normativos da NBR 15316 (26 N/mm²) e da EN 300 (22 N/mm²). Em contrapartida, sob condição de saturação hídrica, observou-se uma redução significativa do comportamento mecânico, atribuível à degradação da matriz lignocelulósica e à perda de coesão interfacial (ROWELL et al., 2005). A condição seca apresentou um desempenho intermediário, tal comportamento foi observado por Reich, Ge e Wang (2021) em painéis de OSB submetidos a ciclos de umidade e secagem. Os pesquisadores observaram que há uma redução significativa do teor de umidade — de até 36% para 22% quando utilizados recursos de ventilação e difusão de vapor — favorecendo o aumento da rigidez estrutural, ainda que com potencial aumento da fragilidade por retração volumétrica.

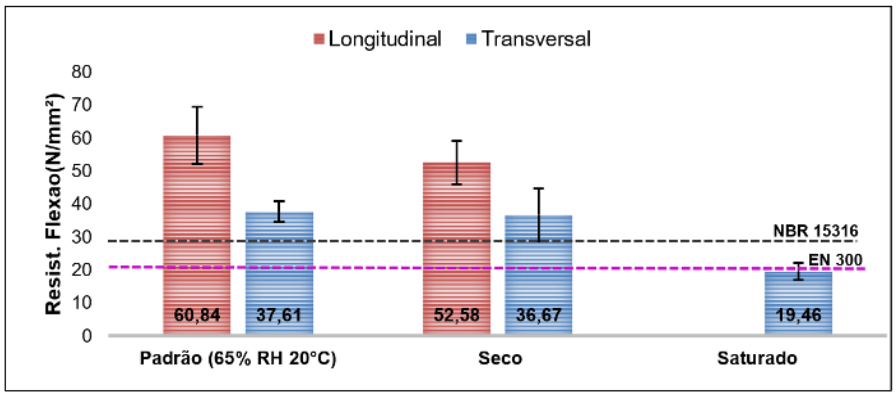
Figura 10: Resistência à flexão em corpos de prova de placas OSB nas condições padrão, seco e saturado, para os eixos longitudinal e transversal.



A Figura 11 apresenta o comportamento da resistência à flexão dos painéis de madeira compensada sob diferentes condições higrotérmicas. Observa-se que, nas condições padrão (20 °C e 65% URA) e seca, os valores médios obtidos nas direções longitudinal (60,84 e 52,58 N/mm², respectivamente) e transversal (37,61 e 36,67 N/mm²) permaneceram amplamente superiores aos limites estabelecidos pelas normas técnicas ABNT NBR 15316 e EN 300. Na condição saturada, entretanto, a resistência à flexão apresentou queda acentuada, atingindo 19,46 N/mm² na direção transversal — valor inferior aos referenciais normativos. A ausência de resultados na direção longitudinal, nesta mesma condição, decorre do colapso estrutural prematuro das amostras durante o processo de condicionamento hídrico, evidenciando delaminação interlaminar e possível

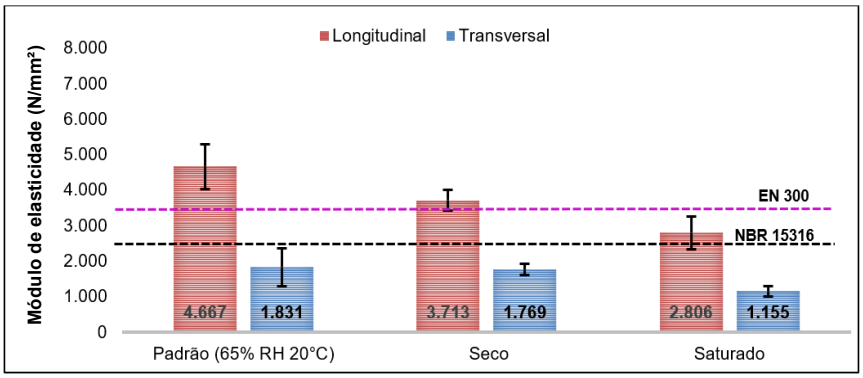
perda de coesão adesiva.

Figura 11: Resistência à flexão em corpo de prova de madeira compensada



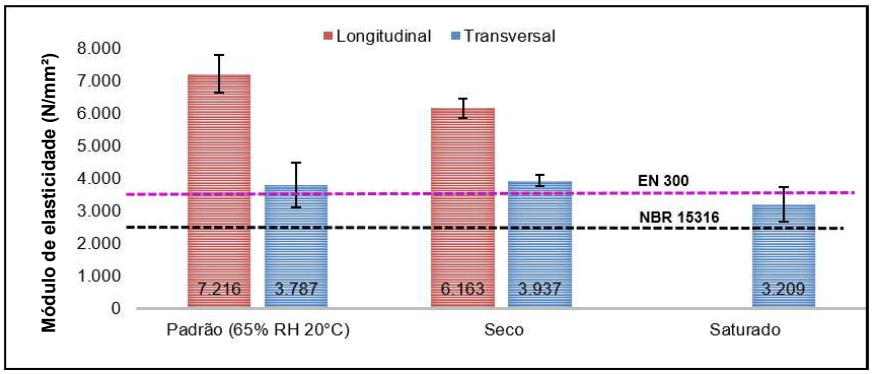
A Figura 12 apresenta o comportamento do módulo de elasticidade dos painéis OSB nas direções longitudinal e transversal sob três diferentes condições higrotérmicas. Observa-se uma tendencia de superioridade dos valores longitudinais em relação aos transversais, evidenciando a anisotropia do material. A condição padrão proporcionou os maiores valores médios, com 4.667 N/mm² no sentido longitudinal e 1.831 N/mm² no transversal, ambos superiores aos limites estabelecidos pelas normas EN 300 e ABNT NBR 15316. Na condição seca, observa-se leve redução do módulo de elasticidade, indicando manutenção da rigidez estrutural mesmo após a retirada de umidade. Em contrapartida, os corpos de prova submetidos à saturação apresentaram as menores médias, com redução significativa de rigidez em ambas as direções, particularmente no eixo longitudinal. Este comportamento indica que a exposição à umidade em estado líquido compromete severamente a integridade mecânica do OSB, reduzindo sua capacidade de resistir à deformação elástica.

Figura 12: Módulo de Elasticidade em corpo de prova OSB



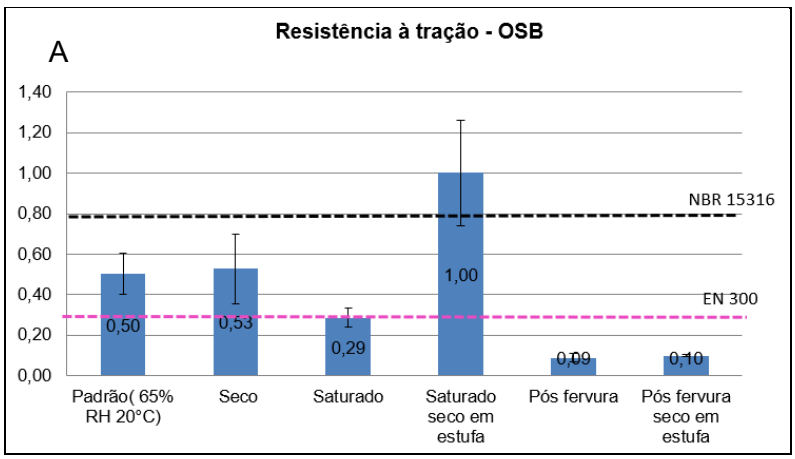
A Figura 13 indica os valores de módulo de elasticidade para os corpos de prova de painel compensado, após ser submetido as diferentes condições hidrotérmicas. Nota-se que, de forma geral, há um elevado comportamento mecânico, mesmo após exposição à umidade. Na condição padrão, os corpos de prova apresentaram os maiores valores longitudinais (7.216 N/mm²) e transversais (3.787 N/mm²), refletindo a plena conservação das propriedades elásticas em ambiente controlado. A leve redução observada sob secagem (6.163 N/mm² e 3.937 N/mm², respectivamente) sugere incremento na rigidez estrutural pela retração das fibras, sem comprometimento do desempenho. Por fim, na condição saturada, embora haja decréscimo nos valores, os painéis mantiveram comportamento mecânico robusto (3.209 N/mm² na direção transversal), o que indica resiliência estrutural mesmo sob exposição hídrica prolongada.

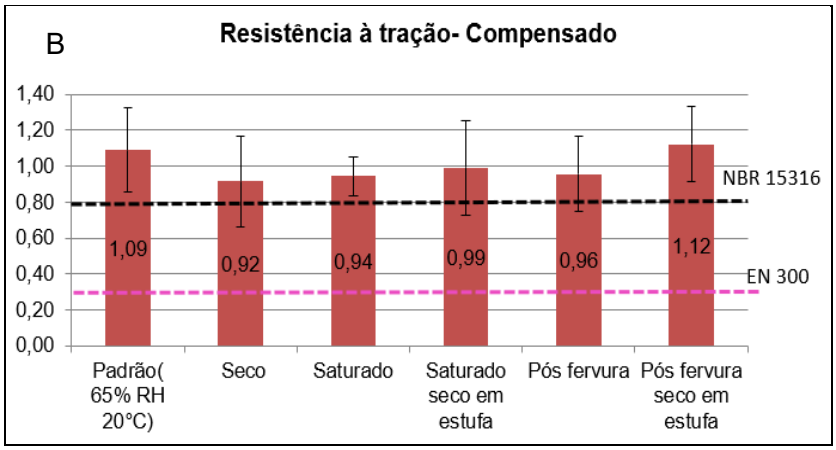
Figura 13: Módulo de Elasticidade em corpo de prova de madeira compensada



A Figura 14 A e B apresentam os valores de resistência à tração para as amostras de painéis OSB e compensado, respectivamente. Conforme observado nas Figura 14 A, na condição padrão (20 °C e 65% URA), os valores médios de resistência à tração das amostras de OSB situam-se em 0,50 N/mm². A resistência decresce abruptamente para 0,29 N/mm² sob saturação e atinge valores críticos após os ciclos de fervura (0,09 e 0,10 N/mm²), evidenciando falhas coesivas nas interfaces adesivas, possivelmente associadas à delaminação e degradação hidrotérmica da matriz polimérica. O incremento de resistência (1,00 N/mm²) na condição saturado seco em estufa pode estar relacionado à reativação das interfaces adesivas por efeito térmico, promovendo maior densificação local e recuperação parcial da coesão interna. Conforme apontado por Li et al. (2019), o processo de sorção e dessorção de água induz deformações residuais progressivas nos painéis OSB, comprometendo sua capacidade de carga a cada ciclo. Entretanto, a transferência eficiente de tensões ao longo da espessura do painel pode mitigar falhas prematuras. A retomada da resistência após secagem reforça a hipótese de reorganização das ligações cruzadas das resinas, que, segundo Berglund e Rowell (2005), podem sofrer condensações adicionais sob calor, conferindo rigidez temporária ao sistema adesivo.

Figura 14: Resistência à tração em corpo de prova de OSB (A) e corpos de prova de painel compensado (B), nas diferentes condições higrotérmica.





Por outro lado, as amostras de painéis compensados apresentaram comportamento mecânico estável em todas as condições, com resistência à tração oscilando entre 0,92 e 1,12 N/mm². Esse comportamento reforça a robustez da estrutura laminar colada do compensado, cuja adesão entre lâminas, frequentemente realizada com resinas fenólicas de alta estabilidade térmica e higroscópica, sustenta a integridade mesmo após exposição a ciclos extremos (ROWELL, 2005). A ausência de degradação acentuada em ambientes saturados ou pós-fervura sugere que a resistência à tração do compensado é menos sensível à plastificação das ligninas e à perda de hidrofobicidade observada em materiais particulados como o OSB. Assim, a comparação entre os dois materiais evidencia a superioridade técnica do compensado em contextos em que há elevada exigência de resistência à tração e exposição à umidade cíclica, destacando sua aplicabilidade mais segura em sistemas Light Steel Frame submetidos a cargas hídricas e térmicas intermitentes.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou aspectos fundamentais sobre o comportamento mecânico dos painéis OSB e compensado sob diferentes condições higrotérmicas, com foco à sua aplicação em sistemas construtivos leves industrializados, tais como *Light Steel Frame* (LSF) e *Light Wood Frame* (LWF). Verificou-se que a anisotropia inerente à constituição fibrosa dos materiais exercia influência significativa em suas propriedades estruturais, particularmente nos ensaios de flexão e módulo de elasticidade. O painel OSB apresentou desempenho adequado à resistência à flexão apenas na direção longitudinal e sob condição padrão, apresentando significativa sensibilidade à presença de umidade e à secagem forçada. Em contrapartida, os painéis de madeira compensada mostraram comportamento superior e mais estável em todas as direções e condições ambientais, com exceção do ensaio longitudinal sob saturação, cuja condução foi inviabilizada pela delaminação precoce dos corpos de prova, indicativo da perda de coesão adesiva entre as lâminas.

No que tange ao módulo de elasticidade, os resultados evidenciaram que o OSB atinge os parâmetros normativos exclusivamente na direção longitudinal, ao passo que o compensado os supera de forma consistente, independentemente da orientação estrutural ou da condição de umidade. Em ensaios de tração perpendicular, a queda expressiva de resistência observada no OSB sob saturação confirma a fragilidade de suas interfaces adesivas frente ao comprometimento higroscópico. Por outro lado, os compensados mantiveram estabilidade notável mesmo após exposição a ciclos severos de fervura e secagem.

Importa destacar que a superioridade de desempenho observada nos compensados não decorre apenas de sua arquitetura laminar cruzada e do uso de adesivos fenólicos, mas está diretamente associada ao tratamento industrial em autoclave com preservantes hidrorrepelentes, característico do compensado naval. Tal processo de tratamento confere estabilidade dimensional superior e maior resistência à delaminação em ambientes saturados, viabilizando seu uso em aplicações estruturais, conforme reconhecido na Diretriz Técnica SINAT 005 — Light Wood Frame. Tais processos não apenas ratificam a superioridade técnica dos painéis de madeira compensada em cenários críticos, como também corroboram os achados de Carrasco et al. (2021) e Rowell (2005), os quais apontam a robustez mecânica e higroscópica desse material frente a variações ambientais.

Essa contribuição alinha-se às discussões contemporâneas sobre o desempenho de painéis estruturais sob solicitantes ambientais extremos (AGGARWAL et al., 2022; SAEED; MALEN; KRISHNAMURTI, 2024),

reforçando a pertinência de ampliar o uso de compensado naval como componente de vedação estrutural em sistemas LSF, especialmente em regiões com alta variabilidade higrotérmica. Do ponto de vista prático e normativo, os resultados oferecem subsídios técnicos para a revisão de diretrizes aplicáveis à seleção de materiais em construções industrializadas, ampliando a base empírica para decisões projetuais e especificações técnicas em conformidade com as normas NBR 15316-2 e EN 300.

A pesquisa também evidencia a relevância do projeto de impermeabilização como componente essencial da compatibilidade entre os painéis estruturais e os sistemas de vedação vertical. A ausência de tal compatibilização compromete não apenas o desempenho mecânico a longo prazo, mas também a integridade do sistema como um todo, diante da possibilidade de infiltrações capilares, condensações internas e degradação progressiva das interfaces adesivas. Portanto, o detalhamento de soluções de impermeabilização deve ser pensado de forma sinérgica com as propriedades dos painéis, incorporando princípios de estanqueidade, ventilação e proteção contra umidade ascendente, conforme estabelecido pelas normas técnicas nacionais e internacionais vigentes.

Como desenvolvimento futuro, sugere-se a investigação do comportamento de painéis compensados modificados por impregnação química e/ou tratamento térmico, visando aprimorar ainda mais sua performance sob exposição hidrotérmica prolongada. Estudos integrados de simulação numérica acoplada à avaliação experimental também poderão oferecer modelos preditivos mais precisos para o desempenho dos sistemas de vedação em LSF, contribuindo para a evolução tecnológica e normativa deste segmento construtivo.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, Chetan; GE, Hua; DEFO, Maurice; LACASSE, Michael A. Hygrothermal performance assessment of wood frame walls under historical and future climates using partial least squares regression. **Building and Environment**, Amsterdam, v. 223, set. 2022. ISSN 0360-1323. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109501. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.1016/j.buildenv.2022.109501.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316: Painéis de fibras de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: https://www.abnt.org.br. Acesso em: 30 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16143: Produtos preservantes – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 2074: Madeira compensada – Vocabulário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: https://www.abnt.org.br. Acesso em: 30 jun. 2025.

BARRETO DE GÓES, Matheus; JESUS RIBAS, Rovadávia A. de; DIAS, Celisy. Painéis de fechamento de madeira industrializados utilizados edificações estrutura metálica. **International Journal of Development Research**, [S.l.], v. 11, n. 4, abr. 2021. ISSN 2230-9926. Disponível em: https://doi.org/10.37118/ijdr.21555.04.2021. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.37118/ijdr.21555.04.2021.

BERGLUND, Lars; ROWELL, Roger M. Wood composites. **In**: ROWELL, Roger M. (ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. cap. 10, p. 281-301.

BORODINECS, Anatolijs et al. Hygrothermal performance of well-insulated wood-frame walls in Baltic climatic conditions. **Case Studies in Thermal Engineering**, Amsterdam, v. 66, jan. 2025. ISSN 2214-157X. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.105772. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.1016/j.csite.2025.105772.

CAMPOS, Cristiane Inácio de et al. Desempenho mecânico de painéis OSB tratados com CCA. **In**: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE MADEIRA E CONSTRUÇÃO, 2017, Buenos Aires. **Anais do CLEM CIMAD**. Buenos Aires: CLEM CIMAD, 2017. p. 1-10.

CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla et al. Sistema construtivo light steel framing: avaliação do desempenho de placas de madeira reconstituída. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 7, n. 3, set. 2021. ISSN 2447-3073. Disponível em: https://doi.org/10.29183/2447-3073.mix2021.v7.n3.65-76. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.29183/2447-3073.mix2021.v7.n3.65-76.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Perfis galvanizados para light steel frame e drywall**. São Paulo: CBCA, 2018. 50 p.

COSTELLO, Vincent K. **Durability and weatherproofing of building envelope materials**. Austin: The University of Texas at Austin, 2020. 150 p.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Oriented strand board**. Tacoma: APA, 2017. Disponível em: https://www.corrim.org. Acesso em: 30 jun. 2025.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 300: Oriented strand boards (OSB) – Definitions, classification and specifications**. Bruxelas: CEN, 2006. 20 p.

FARRIELO DE CAMPOS, Patrícia. **Light steel framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014. 200 p.

LI, Wanzhao et al. The effect of water sorption/desorption on fatigue deflection of OSB. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 223, out. 2019. ISSN 0950-0618. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.283. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.283.

LOGSDON, Norman Barros. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diretriz técnica SINAT n. 005: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (sistemas leves tipo light wood framing).** Brasília: Ministério das Cidades, [s.d.]. 30 p.

ROWELL, Roger M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. 487 p.

ROWELL, Roger M. et al. Cell wall chemistry. **In**: ROWELL, Roger M. (ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. cap. 3, p. 75-98. doi:10.1201/b12487.

SAEED, Noreen; MALEN, Jonathan A.; KRISHNAMURTI, Ramesh. Predicting effective thermal conductivity of multilayered assemblies related to wood-frame construction based on dielectric properties. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 447, out. 2024. ISSN 0950-0618. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138102. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.1016/j.conbuildmat.2024.138102.

THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **A guide to engineered wood products**. Tacoma: APA, 2010. 40 p.

THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Performance rated panels**. Form n. F405M. Tacoma: APA, 2011. 15 p.

THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Product guide: sanded plywood**. Tacoma: APA, 2011. 20 p.

VELJKOVIC, Milan; JOHANSSON, Bernt. Light steel framing for residential buildings. **Thin-Walled Structures**, Amsterdam, v. 44, n. 12, dez. 2007. ISSN 0263-8231. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tws.2007.01.006. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.1016/j.tws.2007.01.006.

WILLIAMS, R. Sam. Weathering of wood. **In**: ROWELL, Roger M. (ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. cap. 5, p. 142-178.

WOLFART, Geovâni Luís; ALEGRE, Porto. **Sistema construtivo em light steel frame com revestimento externo em EIFS: aspectos e gargalos do processo executivo**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 120 p.

YANG, Yuxin et al. A novel bio-based waterproofing agent with lignosulfonate-encapsulated paraffin (LEP) against water absorption in wood-based composite. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 22, jun. 2025. ISSN 2214-5095. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04523. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.1016/j.cscm.2025.e04523.

ZEGEN REICH, Ben; GE, Hua; WANG, Jieying. Effect of vapor diffusion port on the hygrothermal performance of wood-frame walls. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 39, jul. 2021. ISSN 2352-7102. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102280. Acesso em: 30 jun. 2025. doi:10.1016/j.jobe.2021.102280.