ESTRUTURAS LEVES EM TERRITÓRIOS INSTÁVEIS: *MASS TIMBER* NO CONTEXTO SÍSMICO DE VANCOUVER, BRITISH COLUMBIA.

Anna Carolina Pinha Franco e Alexandre Augusto Martins

Apoio:PIVIC Mackenzie

RESUMO

Esta pesquisa analisa o desempenho técnico-estrutural da Madeira Laminada Colada e da *Cross-Laminated Timber* diante da dupla exposição de Vancouver ao risco sísmico da Zona de Subducção de Cascadia e ao agravamento das demandas climáticas, à medida que o aquecimento global amplia a instabilidade térmica do país canadense. A metodologia combina revisão bibliográfica, análise documental e estudo de caso do edifício *The Hive*. Os resultados indicam que a leveza, o amortecimento intrínseco e a ductilidade das ligações favorecem o uso de *mass timber* em contextos sísmicos; no caso analisado, esse desempenho é reforçado pelo dispositivo RSFJ, que atua como sistema de dissipação e recentramento da estrutura, reduzindo deformações residuais em eventos de longa duração, como o megaterremoto de interface da Cascadia. No campo climático, verificou-se que a principal vulnerabilidade não está na madeira laminada em si, mas nas interfaces adesivas presentes nas tecnologias, afetadas por umidade cíclica, fadiga higroscópica e ciclos de gelo-degelo, o que compromete a durabilidade e a integridade do conjunto estrutural. Quanto à viabilidade, a consolidação da indústria florestal, as certificações e as políticas provinciais criam condições favoráveis, embora insuficientes; concluindo-se que as tecnologias respondem à dupla exposição sísmico-climática de forma parcial e condicionada, dependendo de fatores não inerentes ao material bruto e de integração entre projeto, norma e contexto. Portanto, as análises aqui dispostas reforçam a importância de soluções adaptadas às condições geológicas e climáticas locais, sobretudo em cenários de alta instabilidade ambiental.

Palavras-chave: *mass timber*; desempenho sísmico; adaptabilidade climática.

ABSTRACT

This research analyzes the technical and structural performance of glue-laminated timber and cross-laminated timber under Vancouver's dual exposure to seismic risk from the Cascadia Subduction Zone and to worsening climatic demands, as global warming increases the canadian country's thermal instability. The methodology combines literature review, document analysis, and a case study of The Hive. The results indicate that low self-weight, intrinsic damping, and connection ductility favor the use of mass timber in seismic contexts; in the case

analyzed, this performance is further enhanced by the RSFJ device, which acts as a dissipation and recentering system for the structure, reducing residual deformations in long-duration events, such as the Cascadia megathrust earthquake. In climatic terms, the main vulnerability was found not in the laminated wood itself, but in the adhesive interfaces within these technologies, which are affected by cyclic moisture, hygroscopic fatigue, and freeze-thaw cycles, thereby compromising the durability and integrity of the structural assembly. Regarding feasibility, the consolidation of the forest industry, certification schemes, and provincial policies create favorable, though insufficient, conditions. It is concluded that these technologies respond to Vancouver's seismic-climatic dual exposure in a partial and conditional way, depending on factors not inherent to the raw material and on the integration of design, code, and context. Therefore, the analyses presented here reinforce the importance of solutions adapted to local geological and climatic conditions, especially in scenarios of high environmental instability.

Keywords: mass timber; seismic performance; climatic adaptability.

1. INTRODUÇÃO

A crise climática representa o maior desafio civilizatório do século XXI e exige transformações estruturais em todos os setores produtivos, entre eles a construção civil, um dos principais alvos dessa urgência. Em 2019, o setor foi responsável por 21% das emissões globais de gases de efeito estufa, das quais "57% corresponderam a emissões indiretas[1] de CO_2, 24% a emissões diretas[2] e 18% à produção de cimento e aço" (IPCC, 2022, não paginado, Introdução), materiais cujas emissões atravessam todo o ciclo produtivo, da extração ao transporte. Essa preocupação também se reflete na arquitetura: a 14ª Bienal Internacional de Arquitetura de São Paulo (2025), sob o tema Extremos: Arquiteturas para um Mundo Quente, afirma que, se a arquitetura participa do uso de recursos e da produção dos extremos do clima, também deve apontar caminhos de reversão, capazes de estar “na ponta da ciência e da tecnologia” (IABsp, 2025, não paginado). Nesse contexto, Vancouver, British Columbia, onde se articulam vulnerabilidade sísmica, abundância florestal e políticas de descarbonização, constitui um cenário particularmente revelador.

A *Mass Timber* (Madeira Maciça Engenheirada), em especial a MLC – Madeira Laminada Colada (*Glulam – Glued Laminated Timber*) e a CLT (*Cross-Laminated Timber)*, emerge como estratégia promissora no contexto contemporâneo. Sua resiliência estrutural frente à crise climática decorre de propriedades físicas: enquanto concreto e aço estão sujeitos a microfissuras, corrosão e perda de estabilidade sob variações de temperatura e umidade, a leveza do sistema e a ductilidade de suas ligações permitem às estruturas absorver e dissipar energia sem colapso imediato (IPCC, 2022). Esse potencial, no entanto, é inseparável da questão florestal que o sustenta: a demanda global por madeira pode pressionar ecossistemas, ciclos hídricos e estoques de carbono na biomassa viva. Nesse sentido, certificações como o Forest Stewardship Council (FSC) constituem um dos principais mecanismos de governança, ao assegurar que essas tecnologias não atuem como nova pressão sobre os ecossistemas dos quais depende a resiliência climática de cidades como Vancouver (FSC, 2023).

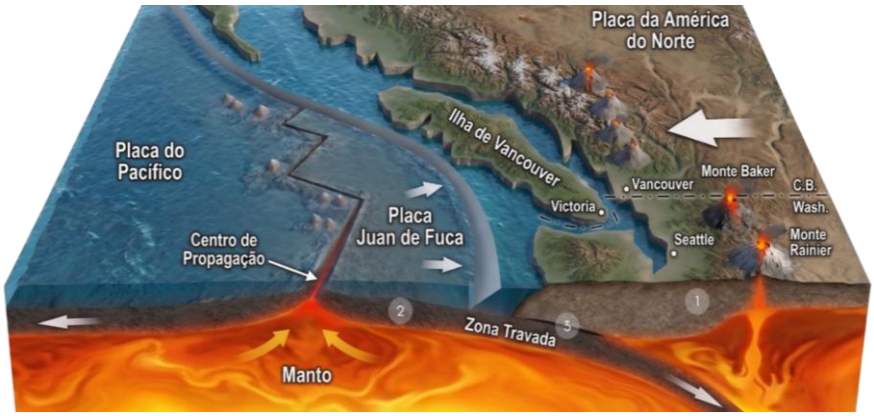
A costa oeste da América do Norte abriga uma das zonas sismogênicas mais relevantes do continente: a Zona de Subducção de Cascadia, falha que se estende do norte da Califórnia ao sul do Alasca e é capaz de gerar megaterremotos de magnitude superior a 9,0 em escala de momento (Mw). British Columbia está diretamente inserida nesse contexto, e Vancouver, sua principal metrópole, encontra-se exposta a uma ameaça amplamente discutida por geólogos e órgãos de proteção civil canadenses. A falha já registrou ruptura

[1] Referem-se às emissões geradas nas usinas e centrais que fornecem eletricidade e calor para os edifícios.

[2] Referem-se às emissões geradas diretamente no canteiro de obras ou no próprio edifício, como queima de combustíveis em equipamentos, caldeiras e geradores.

completa em 1700, evento iniciado na costa da Ilha de Vancouver e responsável por um tsunami transpacífico registrado no Japão; desde então, estima-se que a região acumule mais de 325 anos de estresse nas placas, tornando o próximo grande evento não uma possibilidade remota, mas uma questão de tempo. Além disso, a localização de Vancouver em solo sedimentar amplifica as ondas sísmicas, o que se soma à influência tectônica de três fontes distintas [figura 1], tornando seu contexto geológico particularmente complexo (ROGERS et al., 2015).

Figura 1 – Contexto tectônico do sudoeste de British Columbia, a partir de três fontes: 1. sismos crustais na placa Norte Americana; 2. sismos intraplaca profundos na Placa Juan de Fuca; e 3. megaterremotos de interface, que ocorrem ao longo da própria falha da Cascadia, onde as duas placas estão atualmente em contato na região oceânica.



Fonte: ROGERS et al. (2015), adaptada pela autora.

Estudos recentes indicam que precipitações extremas, impulsionadas pela crise climática, podem influenciar a atividade sísmica ao gerar pressão de fluidos no subsolo, capaz de desestabilizar falhas próximas do limiar de ruptura. Em Vancouver, esse mecanismo se combina ao aumento do nível do mar, também decorrente das chuvas extremas e do derretimento das geleiras, cuja pressão hidrostática[3] age sobre os segmentos submersos da falha de Cascadia (LARROQUE, 2024)[4]. Embora essa relação ainda esteja em investigação científica e não implique causalidade direta, ela sugere que a crise climática atua como fator adicional de vulnerabilidade; em uma cidade marcada por altos índices pluviométricos, Vancouver torna-se progressivamente menos resiliente a um evento sísmico já esperado (ROGERS et al., 2015).

[3] Pressão exercida por um fluido em repouso devido ao peso do próprio fluido.
[4] O artigo de Larroque (2024) sintetiza os mecanismos descritos em BOHNHOFF et al (2024).

Embora MLC e CLT apresentem bom desempenho estrutural em zonas sísmicas e sob variações térmicas e de umidade, ainda existem lacunas quanto à sua adaptabilidade técnica diante do aumento da vulnerabilidade climática e geológica de Vancouver. British Columbia, com uma das indústrias florestais mais consolidadas da América do Norte e histórico crescente de adoção de sistemas em madeira de grande porte, configura-se como um laboratório privilegiado para esta investigação; motivação reforçada pelo interesse da autora em compreender, a partir de um olhar sensível e situado, de que maneira a arquitetura em madeira praticada em solo canadense articula inovação técnica, identidade material e responsabilidade ambiental. Com isso, a presente pesquisa busca responder **de que maneira MLC e CLT respondem, do ponto de vista técnico-estrutural, à dupla exposição de Vancouver ao risco sísmico da Cascadia e ao agravamento das demandas climáticas?**

Para responder a essa questão, o trabalho tem como objetivo analisar o desempenho técnico-estrutural dessas tecnologias diante da alta vulnerabilidade sísmica e da intensificação da crise climática, a partir de três perspectivas complementares:

- Resposta estrutural à sismicidade, dado o risco associado à Zona de Subducção de Cascadia;
- Propriedades mecânicas e comportamentais frente às demandas climáticas, como variações de umidade, temperatura e ciclos de gelo-degelo;
- Viabilidade construtiva em British Columbia, à luz do contexto florestal-industrial e das políticas e códigos de construção vigentes.

Para alcançar esse objetivo, a pesquisa adota abordagem qualitativa, com revisão bibliográfica técnica, análise documental e estudo de caso analítico do projeto dos escritórios Dialog e Fast+Epp, *The Hive*, concluído em 2026 e localizado na região metropolitana de Vancouver, selecionado por sua relevância estrutural e pelo contexto climático-geológico. A revisão bibliográfica reúne literatura especializada sobre *mass timber*, propriedades mecânicas da MLC e da CLT, e comportamento sísmico dessas tecnologias. A análise documental contempla normas técnicas, como a CSA O86 e os códigos de construção de Vancouver, além de políticas públicas e relatórios do setor florestal e de inovação construtiva em British Columbia. Em seguida, cruzam-se dados sobre desempenho estrutural, sismicidade e condições ambientais locais, permitindo avaliar a adaptabilidade dos sistemas em madeira às vulnerabilidades identificadas. Ao final, o estudo busca evidenciar a necessidade de articulação entre projeto, norma e contexto, para que essas tecnologias respondam, de modo tecnicamente consistente e ambientalmente responsável, aos desafios contemporâneos impostos pela crise climática em Vancouver, BC.

Dito isso, a estrutura da pesquisa organiza-se em três seções principais: a seção 1 apresenta o contexto climático e sísmico de Vancouver e British Columbia, situando a crise climática e o risco associado à Zona de Subducção de Cascadia. A seção 2 aborda a evolução técnica de *mass timber*, com foco na consolidação da MLC e da CLT como sistemas estruturais; analisa as propriedades mecânicas e comportamentais desses sistemas frente às demandas climáticas e sísmicas; e discute sua adaptabilidade à realidade de Vancouver, considerando o contexto florestal-industrial, as limitações normativas vigentes e as estratégias construtivas adotadas no estudo de caso. Por fim, a seção 3 apresenta as considerações finais e destaca as contribuições do estudo, bem como possíveis encaminhamentos para pesquisas futuras.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

2.1 Contextualização

Possivelmente o primeiro material de construção usado de forma sistemática pelo ser humano, a madeira teve sua adoção inicial condicionada por fatores pragmáticos: abundância, simples extração, leveza e manuseio, que permitiam a montagem de abrigos adaptáveis às condições territoriais. Ao longo dos séculos, esses atributos foram aprimorados por técnicas construtivas moldadas por contextos geográficos, culturais e climáticos distintos, consolidando a madeira como um dos materiais estruturais mais importantes da história da arquitetura, de tradições vernaculares a sistemas construtivos complexos. A carpintaria japonesa, com sistemas de encaixes e entalhes altamente resilientes a abalos sísmicos, é exemplo histórico dessa complexidade estrutural ditada pelo contexto local (ZARRILLO, 2019).

Com a disseminação do concreto armado e do aço na arquitetura moderna, a partir da industrialização no início do século XX, a madeira sofreu declínio como material estrutural principal. O pós-Segunda Guerra Mundial favoreceu materiais padronizáveis, produzidos em massa e adequados a edifícios de múltiplos pavimentos, ao passo que a madeira se reduziu a construções temporárias e usos secundários. Paralelamente, na Europa e na América do Norte consolidou-se o campo dos *Engineered Wood Products* (EWP), produtos de madeira engenheirada que marcaram uma inflexão na forma como o material é compreendido e aplicado na arquitetura contemporânea.

A MLC foi o primeiro desses produtos a ser sistematizado. Suas bases tecnológicas remontam ao trabalho pioneiro do carpinteiro alemão Otto Karl Friedrich Hetzer, cujas patentes no início do século XX para vigas retas e elementos curvos consolidaram o princípio de elementos estruturais formados por lâminas sobrepostas e coladas, com fibras paralelas

ao eixo longitudinal, conferindo comportamento mais previsível e duradouro que o da madeira maciça aparafusada ou pregada (WOODSOLUTIONS, s.d.).

A CLT configura-se como um produto mais recente, associado à pesquisa de Gerhard Schickhofer, na Áustria. Em 1994, Schickhofer dedicou sua tese à análise estrutural e às bases para o dimensionamento de painéis compostos por lâminas de madeira coladas em sentidos perpendiculares; ainda nos anos 1990, ensaios na ETH Zürich, na Suíça, e em centros de pesquisa canadenses comprovaram o bom comportamento da CLT em simulações de terremotos de grande magnitude, com alta capacidade de dissipação de energia e integridade estrutural após deslocamentos significativos. A fundação da KLH Massivholz, em 1997, na Áustria, marcou a transição da CLT de objeto de pesquisa para produto industrial, inicialmente voltado a agregar valor a madeiras de menor qualidade (FLEMING, 2021). Com a adesão progressiva da Europa Central, da América do Norte e da Ásia, a tecnologia representou uma mudança de paradigma: um material natural passou a apresentar comportamentos típicos de um material composto, exigindo

> […] grandes deformações para quebrar e desmoronar — ao contrário do concreto. Por outro lado, 1 m³ de concreto pesa aproximadamente 2,7 toneladas, enquanto 1 m³ de CLT pesa 400 kg, proporcionando a mesma resistência. (FRANCO, 2020, não paginado).

A crise climática reposiciona a *mass timber* no centro da arquitetura contemporânea ao tornar o armazenamento de carbono, a industrialização de sistemas e a adaptação construtiva a condições climáticas e geológicas adversas critérios inegociáveis para uma produção arquitetônica responsável.

2.2 *Mass Timber* em Vancouver, British Columbia

British Columbia é a principal província florestal do Canadá, com cerca de 55 milhões de hectares de cobertura florestal, cerca de 60% do território provincial. A região costeira, onde Vancouver se localiza, abriga espécies com propriedades mecânicas notórias para a produção de *mass timber*, sobretudo Douglas-fir, hemlock ocidental e cedro vermelho ocidental (COFI, 2024); essa matéria-prima, aliada a uma indústria florestal consolidada, posicionou BC como um dos principais polos de fabricação da tecnologia na América do Norte. Embora o FSC seja referência internacional de governança florestal por estabelecer critérios gerais para manejo ambientalmente adequado, socialmente benéfico e economicamente viável, em British Columbia a gestão dessas florestas é respaldada pela certificação *Sustainable Forestry Initiative* (SFI). Esse selo associa-se ao manejo das florestas costeiras, ao abastecimento industrial e à estrutura regulatória da província, que impõe reflorestamento

em até duas estações de plantio após o corte, proteção de espécies ameaçadas e conservação de habitats críticos (SFI, 2022).

Em Vancouver, esse contexto florestal se traduz em uma agenda construída crescente. Em 2011, a cidade lançou o *Greenest City 2020 Action Plan*, que estabeleceu neutralidade de carbono nas novas construções a partir de 2020 e a redução das emissões do estoque existente em 20% até o mesmo ano, política que impulsionou a adoção de *mass timber* como alternativa estrutural de baixo carbono (CITY OF VANCOUVER, 2011). Em escala provincial, o governo de British Columbia lançou, em 2022, o *Mass Timber Action Plan*, estratégia dedicada ao crescimento do setor por meio da integração entre florestas, manufatura, construção e formação profissional, consolidando a província como referência global nessa tecnologia (GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA, 2022). Esse conjunto de iniciativas, da escala municipal à provincial, torna Vancouver propícia ao estudo das potencialidades e dos limites desse método construtivo — posição materializada em projetos como o *Brock Commons Tallwood House,* torre híbrida de 18 pavimentos em *mass timber* e concreto que, em 2017, representou um marco precursor da tecnologia em grande escala; uma exceção frente aos limites normativos então vigentes que, à época, tornou-se a estrutura com essa tecnologia mais alta do mundo (NATURALLYWOOD, s.d.).

O alicerce normativo foi, historicamente, um dos principais obstáculos à adoção ampliada de *mass timber* em BC. Vancouver ocupa posição singular nesse cenário: é o único município do Canadá com código de construção próprio, o *Vancouver Building By-Law*, derivado do *National Building Code of Canada* (NBCC) com adaptações locais que refletem sua exposição sísmica (CITY OF VANCOUVER, 2019). Até 2019, os códigos municipal e provincial limitavam estruturas de *mass timber* a 6 pavimentos, sem diretrizes específicas para o desempenho sísmico de MLC e CLT em zonas de alto risco, o que restringia a adoção do material a projetos menores. Esse cenário mudou com a atualização da CSA O86 (*Engineering Design in Wood*), que incorporou, pela primeira vez, sistemas de resistência lateral específicos para *mass timber*, incluindo núcleos de MLC e painéis de CLT, com requisitos compatíveis com zonas sísmicas, abrindo caminho para projetos estruturalmente mais robustos (FPINNOVATIONS, 2020). Em 2020, o NBCC reconheceu formalmente a *Encapsulated Mass Timber Construction*[5] (EMTC) como tipologia construtiva até 12 pavimentos; esse limite foi ampliado para 18 pavimentos em 2024 (GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA, 2024).

A CSA O86, ainda que atualizada, trata as condições climáticas de forma estática, sem contemplar o aumento da frequência e da intensidade de ciclos de gelo-degelo e das

[5] Tipologia construtiva em que os elementos estruturais de madeira são revestidos por materiais não combustíveis, retardando a exposição do material ao fogo e garantindo tempo de evacuação seguro em caso de incêndio.

variações de umidade projetadas para BC à medida que a crise climática amplia a instabilidade térmica do país. Esses fenômenos degradam progressivamente a madeira e, sobretudo, as ligações adesivas das tecnologias, comprometendo sua integridade, sua resistência mecânica e, por consequência, sua resiliência sísmica — característica crítica diante do contexto geológico de Vancouver (FPINNOVATIONS, 2020). A aceitação de soluções alternativas pelo código, mediante demonstração de desempenho equivalente, abre espaço para inovação, mas exige ensaios e laudos técnicos complexos e custosos, o que dificulta a atualização normativa no ritmo em que a crise climática avança; lacuna que esta pesquisa busca, em parte, mapear.

2.3 Propriedades Mecânicas e Técnicas das tecnologias MLC e CLT

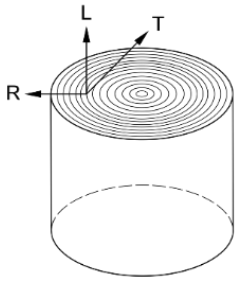
A madeira bruta estrutural é classificada industrialmente em dois grupos botânicos: *softwoods*[6] e *hardwoods*[7], nomenclatura que se refere à sua origem, não à dureza física (RAMAGE et al., 2017). Para além dessa classificação, o uso estrutural exige triagem visual ou mecânica, a fim de identificar defeitos como nós, trincas, inclinação de fibras e madeira de reação[8], além de controlar dois parâmetros fundamentais: densidade e teor de umidade (RAMAGE et al., 2017; PFEIL; PFEIL, 2003). A densidade define a resistência mecânica da peça à compressão, flexão e cisalhamento[9]; por variar naturalmente dentro da mesma espécie, essa triagem é indispensável, pois densidades irregulares comprometem a homogeneidade exigida pelos produtos laminados (PFEIL; PFEIL, 2003). O teor de umidade, por sua vez, precisa estar abaixo de 12±3% para a colagem ser eficaz; acima disso, surgem retrações, expansões, fissuras e empenamentos e, acima de 20%, instaura-se o risco de degradação biológica por fungos (RAMAGE et al., 2017). O controle desses dois aspectos define os procedimentos anteriores à laminação: triagem minuciosa das peças por classe de resistência e secagem em estufa (RAMAGE et al., 2017; PFEIL; PFEIL, 2003).

A secagem controlada em estufa é determinante para a estabilidade do produto final. A madeira recém-cortada apresenta umidade entre 30% e 60%, distribuída em água livre, contida nos lúmens celulares[10], e água ligada, retida nas paredes celulares (RAMAGE et al., 2017). A peça perde primeiro a água livre, sem contração significativa; depois, com a perda da água ligada, ocorre a anisotropia de retração[11] [figura 2] — longitudinal (~0,1–0,3%), radial (~3–5%) e tangencial (~6–12%) — que origina empenamentos, torções e fissuras que

[6] Madeiras macias, originadas de gimnospermas como coníferas (pinus, spruce, fir).
[7] Madeiras duras, originadas de angiospermas dicotiledôneas como eucalipto, carvalho e ipê.
[8] Um tipo de tecido lenhoso anormal formado como resposta a estresses mecânicos, como inclinação, ventos fortes ou peso na copa.
[9] Tensão mecânica que causa o deslizamento ou separação das fibras, agindo como uma força de corte (paralela ou perpendicular).
[10] Cavidade interna de uma célula vegetal na madeira, responsáveis pelo transporte de água e nutrientes.
[11] Propriedade que o material se contrai de maneira desigual em diferentes direções durante processos de resfriamento, secagem ou cura.

comprometem a geometria das peças (PFEIL; PFEIL, 2003). Em secagem ao ar livre, a superfície retrai, por secar mais rapidamente, enquanto o núcleo ainda úmido resiste à movimentação, gerando tensões internas e rachaduras superficiais ou colapso interno da seção (RAMAGE et al., 2017). A estufa elimina esse gradiente ao controlar temperatura, umidade relativa e circulação do ar; para a laminação, esse controle é inegociável, pois acima de 12% de umidade o adesivo não cura corretamente[12], o que pode destacar a linha de cola ou empenar o painel (PFEIL; PFEIL, 2003). No contexto de Vancouver, onde a umidade relativa é alta e variável, a madeira precisa atingir uma umidade de equilíbrio entre 8% e 12%, sob risco de o painel continuar se movimentando em serviço (RAMAGE et al., 2017).

Figura 2 – Retração tridimensional apresentada na secagem da madeira bruta.



Fonte: PFEIL; PFEIL (2003).

Concluída a secagem, inicia-se a laminação. As peças de melhor qualidade são posicionadas nas bordas externas, onde os esforços de tração e compressão na flexão são máximos; peças com defeitos menores, como pequenos nós ou grã irregular[13], são rebaixadas de classe e destinadas ao núcleo central. Peças com madeira de reação ou torções espirais severas são descartadas: a primeira altera intrinsecamente as propriedades mecânicas que não se corrigem com a secagem; a segunda gera empenamento tridimensional ao perder umidade, inviabilizando a colagem plana das lâminas (PFEIL; PFEIL, 2003).

Na costa de Vancouver, as espécies dominantes são Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii), Western hemlock (Tsuga heterophylla), Amabilis fir (Abies amabilis) e Western red cedar (Thuja plicata), responsáveis por grande parte do volume madeireiro costeiro de BC (BCFII, 2021). O Western hemlock e o Amabilis fir são processados como Hem-Fir, por obterem propriedades mecânicas semelhantes. O Douglas-fir é a espécie preferencial para MLC, por sua alta relação resistência/peso, rigidez elevada e comportamento previsível

[12] A água na superfície interfere na reação química dos sistemas de colagem e a madeira continua retraindo após a união das peças.
[13] Disposição desordenada, inclinada, espiralada ou ondulada das fibras e elementos celulares em relação ao eixo principal do tronco.

durante a secagem. O Hem-Fir, embora abundante na costa, permanece subutilizado por suas variações naturais de umidade comprometerem a eficácia dos adesivos, sendo objeto de pesquisas para uso em painéis CLT (BCFII, 2021). O Western red cedar, apesar de seu alto valor comercial, não é empregado em elementos estruturais: seus óleos naturais comprometem a cura dos adesivos, e sua resistência mecânica é inferior à das demais espécies costeiras, o que direciona seu uso para revestimentos e fachadas. O Spruce-Pine-Fir[14] é a matéria-prima predominante na produção industrial de CLT no Canadá, proveniente do interior de British Columbia e utilizada nas fábricas de *mass timber* da região metropolitana de Vancouver. Crescidas sob a sazonalidade do clima temperado oceânico, as espécies locais apresentam anéis de crescimento bem delimitados[15] entre lenho inicial e tardio, resultando em densidades moderadas entre 350 e 450 kg/m³ (RAMAGE et al., 2017).

A MLC, cujo princípio construtivo foi apresentado na contextualização deste trabalho, apresenta resistência à flexão superior à da madeira serrada equivalente e maior homogeneidade mecânica, resultante da redistribuição de defeitos ao longo do comprimento. A CLT, igualmente introduzida, forma painéis biaxiais de alta rigidez no plano, utilizados como parede, laje e cobertura (RAMAGE et al., 2017). A alternância das camadas ortogonais confere à CLT estabilidade dimensional superior à da madeira sólida e elevada resistência à flexão e ao cisalhamento no plano, tornando-a adequada como sistema de contraventamento lateral em edifícios de múltiplos pavimentos (FPINNOVATIONS, 2020). Em termos comparativos, a MLC em Douglas-fir apresenta densidade média entre 430 e 480 kg/m³ e módulo de elasticidade de 12.400 MPa[16] para a classe Douglas Fir-Larch 20f-E, conforme a CSA O86, rigidez que permite vencer vãos maiores com menor deflexão[17] e obter seções mais esbeltas que a madeira serrada equivalente. A CLT em Spruce-Pine-Fir atinge densidades próximas de 450 kg/m³; classificada pela CSA O86 nos graus V2[18] ou E1[19], apresenta módulo de elasticidade efetivo entre 9.000 e 11.000 MPa, reduzido pelas camadas transversais, que não contribuem para a rigidez na direção principal, mas garantem a biaxialidade do painel, e resistência ao cisalhamento de rolamento de 0,5 MPa, propriedade crítica por corresponder ao mecanismo de falha característico dessas camadas sob carga (FPINNOVATIONS, 2020).

O comportamento sísmico da *mass timber* é favorável em comparação ao concreto armado e ao aço, com base em três atributos complementares: baixa densidade, amortecimento intrínseco e ductilidade nas ligações. Em um sismo, a força inercial imposta é

[14] Composto por Lodgepole pine, Interior spruce e Subalpine fir.
[15] A alternância entre lenho inicial e lenho tardio é decisiva para a madeira estrutural, pois o primeiro é mais poroso e o segundo é mais denso, o que influencia diretamente suas propriedades físicas e mecânicas.
[16] O termo MPa (Megapascal) refere-se à unidade de medida de resistência à compressão de materiais.
[17] Deslocamento vertical ou curvatura que uma peça estrutural sofre quando submetida a cargas, como peso, pressão ou ventos.
[18] Lâminas classificadas visualmente, predominante em lajes e coberturas.
[19] Lâminas classificadas mecanicamente, preferido em painéis de parede e contraventamento.

diretamente proporcional à massa; estruturas com essa tecnologia podem ser até seis vezes mais leves que equivalentes em concreto para a mesma capacidade portante, o que reduz substancialmente as demandas sísmicas (RAMAGE et al., 2017). Em Vancouver, onde o solo sedimentar[20] da Bacia do Rio Fraser amplifica as ondas sísmicas, essa leveza é particularmente vantajosa, pois qualquer redução de massa representa diminuição real do risco (ROGERS et al., 2015). O amortecimento intrínseco decorre da estrutura celular fibrosa, que dissipa parte da energia de vibração por fricção entre fibras, com coeficiente entre 1,5% e 3% do amortecimento crítico; trata-se de um mecanismo contínuo e independente das ligações, capaz de reduzir a amplitude das oscilações ao longo do evento sísmico e, somado à baixa massa e à ductilidade das ligações, torna o sistema mais eficiente do que a análise isolada de cada atributo sugere (RAMAGE et al., 2017). Soma-se a isso o comportamento dúctil da *mass timber* ao cisalhamento e à compressão perpendicular às fibras, que permite dissipar energia em ciclos de carga e descarga sem colapso imediato; nos elementos laminados, a diluição dos defeitos ao longo das lâminas e a transferência progressiva de carga entre elas mitigam a propagação abrupta da fratura (PFEIL; PFEIL, 2003). Por fim, enquanto painéis de CLT e peças de MLC tendem a responder de forma elástica durante um sismo, as ligações metálicas (parafusos, cavilhas e conectores de cisalhamento) são projetadas para absorver e dissipar energia por deformação plástica controlada[21], impedindo o colapso abrupto da estrutura (FPINNOVATIONS, 2020).

2.4 Adaptabilidade da *Mass Timber* a Vancouver, British Columbia

O desempenho favorável da MLC e da CLT em contextos sísmicos encontra, em Vancouver, um cenário particularmente exigente. A combinação entre a ameaça de megaterremoto offshore pela Zona de Subducção de Cascadia, o solo sedimentar da Bacia do Rio Fraser e o clima oceânico temperado estabelece desafios que vão além dos parâmetros para os quais esses sistemas foram originalmente desenvolvidos. Analisar sua adaptabilidade a esse contexto exige distinguir o que já está tecnicamente equacionado do que permanece como lacuna — normativa, material ou climática.

Os sistemas de resistência lateral em *mass timber* integrados à CSA O86-19 (núcleos de MLC contraventados e painéis de CLT como paredes de cisalhamento) foram calibrados para sismos de crosta e intraplaca, eventos de curta duração e alta frequência (FPINNOVATIONS, 2020). O megaterremoto de interface da Cascadia, porém, apresenta

[20] Formados pelo acúmulo de partículas de rochas que foram desgastadas, levadas por agentes da natureza e depositadas em um novo lugar; o qual obtém baixa resistência mecânica e risco a erosão, causando grande instabilidade para a construção.
[21] Diferente da deformação elástica, em que o material volta ao formato original, as ligações sofrem deformações permanentes previstas em projeto.

características distintas: longa duração do movimento do solo, baixas frequências dominantes e amplificação pelo solo sedimentar mole. Essas condições intensificam a demanda sobre os sistemas de dissipação de energia e podem levar as estruturas a acumular deformações residuais, mesmo sem colapso imediato (ROGERS et al., 2015).

O clima de Vancouver — úmido, chuvoso e sujeito a variações térmicas —, amplia as exigências sobre a durabilidade da tecnologia. Ciclos repetidos de absorção e liberação de água no material geram deformações entre lâminas, concentrando tensões na zona de colagem e acumulando fadiga higroscópica[22] nessa interface (FPINNOVATIONS, 2020). Em serviço, esse comportamento exige detalhes construtivos de proteção, como fachadas ventiladas e barreiras de vapor adequadas ao perfil local, de modo que o controle de umidade da madeira antes da laminação, discutido na seção anterior, seja condição necessária, mas ainda insuficiente para garantir durabilidade (RAMAGE et al., 2017).

A crise climática intensifica, ainda, a frequência de oscilações térmicas em torno de 0°C ao longo da costa de British Columbia, gerando ciclos de gelo-degelo em elementos de *mass timber* expostos ou semiexpostos[23]. Pesquisas experimentais demonstram que esses ciclos enfraquecem progressivamente o desempenho à flexão da MLC: com o aumento do número de ciclos, o fenômeno de delaminação[24] torna-se mais evidente (GAO et al., 2024)[25]. Esse mecanismo é agravado pelo teor de umidade elevado característico do clima de Vancouver: a água absorvida nas paredes celulares expande ao congelar, gerando pressão interna que acelera a degradação das fibras e das interfaces adesivas, o que compromete tanto a resistência mecânica residual quanto a integridade geométrica das peças ao longo da vida útil da edificação (RAMAGE et al., 2017).

Esses três vetores de vulnerabilidade (sísmico, higrotérmico e de gelo-degelo) não operam de forma isolada: o vetor higrotérmico refere-se à fadiga da linha de cola provocada por ciclos de absorção e liberação de umidade em temperatura ambiente, enquanto o vetor gelo-degelo corresponde ao dano mecânico[26] gerado pela expansão da água ao congelar dentro das paredes celulares. Combinados ao vetor sísmico, ambos fazem com que uma estrutura com rigidez adesiva reduzida pela umidade cíclica dissipe energia de forma menos previsível durante um sismo. A adaptabilidade da MLC e da CLT a Vancouver não é, portanto, uma propriedade intrínseca dos materiais, mas uma condição que depende de detalhamento construtivo criterioso e de atualização normativa capaz de incorporar essas interações —

[22] Estresse estrutural sofrido pelo material ao absorver e liberar umidade repetidamente, causando microsseparações irreversíveis na transferência de cisalhamento entre as lâminas.
[23] Coberturas, estruturas de transição exterior–interior e elementos de fachada em CLT.
[24] Perda de aderência adesiva entre lâminas na linha da cola sem ruptura visível imediata.
[25] Para melhor compreensão dos estudos experimentais de gelo-degelo em MLC, ver Gao et al. (2024).
[26] Degradação microestrutural das fibras da madeira que reduz, de forma progressiva e cumulativa, as propriedades mecânicas residuais, como resistência, rigidez e capacidade de deformação.

integração que a CSA O86, em sua versão vigente, ainda não contempla (FPINNOVATIONS, 2020). Nessa perspectiva, essas tecnologias só se tornam plenamente adaptáveis quando projeto, norma e contexto climático-geológico são tratados de forma unificada.

2.5 Seleção do Edifício

A seleção do edifício partiu de quatro critérios. O primeiro foi o recorte temporal: projetos concluídos entre 2020 e 2026, mantendo o caráter contemporâneo da pesquisa, situando-a no contexto recente do agravamento da crise climática.

O segundo critério foi a adoção de MLC e/ou CLT como sistemas estruturais predominantes, por serem as tecnologias centrais deste trabalho.

O terceiro critério foi a relevância arquitetônica do projeto, tanto estrutural quanto autoral. Do lado da engenharia, a escolha de um edifício assinado pela Fast+Epp justifica-se pela ênfase do escritório na expressão estrutural como parte constitutiva da arquitetura, conforme entrevista[27] à Wood Central. Do lado da autoria arquitetônica, o escritório DIALOG desenvolveu o projeto com a estrutura assumida como elemento espacial e estético central, e não apenas como sistema de suporte, reforçando a leitura articulada entre desempenho técnico e intenção projetual.

Por fim, considerou-se a exposição a condições climáticas relevantes, de modo a evidenciar como variações térmicas e desempenho higrotérmico da envoltória influenciam estratégias construtivas. Com base nesses critérios, foi selecionado o edifício *The Hive – 2150 Keith Drive*, em Vancouver, British Columbia [figura 3].

O *The Hive* integra-se a um ecossistema construtivo consolidado em *mass timber* na região metropolitana de Vancouver, reunindo obras de diferentes portes. A *Rosemary Brown Recreation Centre* e o *Marpole Community Centre*, ambos com engenharia da Fast+Epp, ilustram aplicações recentes em edifícios de uso comunitário; o primeiro foi concluído em 2024 com projeto da HCMA, enquanto o segundo, projetado pela Diamond Schmitt, segue em desenvolvimento, com certificação *Passive House*[28], resposta arquitetônica em diálogo com o aumento das demandas climáticas (HCMA, s.d.; DIAMOND SCHMITT, s.d.). O anteriormente citado *Brock Commons Tallwood House*, por sua vez, insere-se nesse panorama como projeto precursor da tecnologia (NATURALLYWOOD, s.d.). O conjunto, situado entre o pioneiro e o emergente, reforça a premissa de que British Columbia oferece condições técnicas e projetuais para esta investigação.

[27] Para mais detalhes da entrevista concedida por Robert Jackson à *Wood Central*, ver: https://woodcentral.com.au/the-hive-sets-new-bar-as-worlds-most-advanced-seismic-timber-building/.
[28] Padrão internacional de eficiência energética que reduz drasticamente a demanda de climatização mecânica de uma edificação.

Figura 3 – Fachada principal vista do lado externo do edifício *The Hive*.



Fonte: DIALOG (s.d.).

Nota metodológica sobre fontes: a análise construtiva apoia-se em documentação pública e materiais institucionais. Embora tenha havido contato direto com Robert Jackson, sócio e engenheiro estrutural da Fast+Epp, buscando acesso a detalhamentos construtivos e estruturais do edifício selecionado, o compartilhamento não foi possível em razão de políticas internas do escritório. As eventuais lacunas foram complementadas por meio da leitura interpretativa dos sistemas visíveis e descritos nas fontes disponíveis.

2.6 Análise Construtiva

O *The Hive* é particularmente relevante para esta pesquisa por tratar a *mass timber* não apenas como material de baixa emissão ou identidade provincial, mas como sistema estrutural predominante em zona de elevada exigência sísmica.

O aspecto técnico mais destacado do projeto é seu sistema de resistência lateral. Em vez de depender de um núcleo convencional de concreto, o edifício utiliza *timber braced frames*[29] no perímetro e CLT *shear walls*[30] no interior, ambos associados a dispositivos *Tectonus* do tipo *Resilient Slip Friction Joint* (RSFJ). Esses dispositivos dissipam energia sísmica por deslizamento controlado nas ligações, ao mesmo tempo em que promovem recentramento após o evento, reduzindo deformações residuais e danos permanentes. Essa capacidade de recentramento responde diretamente à vulnerabilidade identificada na seção 2.4 quanto ao megaterremoto da Cascadia; esse evento apresenta longa duração de movimento do solo, levando estruturas convencionais a acumular deformações residuais progressivas mesmo sem colapso imediato — é exatamente esse acúmulo que o RSFJ busca

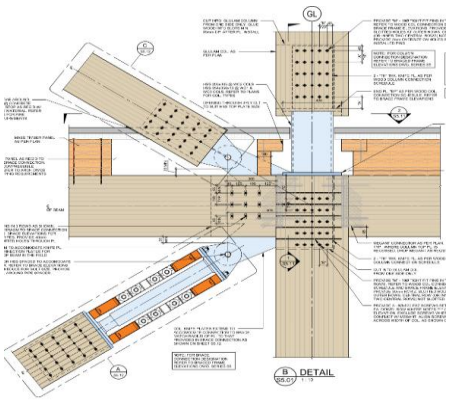
[29] Pórticos contraventados em madeira, formados por vigas, colunas e diagonais que trabalham em conjunto para resistir a ações horizontais.
[30] Paredes estruturais projetadas para resistir a forças laterais atuando no próprio plano da parede, contribuindo para a estabilidade sísmica do edifício.

neutralizar, ciclo a ciclo. O estudo[31] indica que os RSFJs foram avaliados por *Nonlinear Time History Analysis*[32] (NLTHA), inclusive para cenários superiores ao sismo de projeto[33], demonstrando abordagem voltada à resistência inicial e à resiliência pós-evento.

Nesse arranjo estrutural, os diafragmas de CLT têm papel essencial. Os painéis horizontais dos pavimentos coletam e redistribuem os esforços laterais gerados pelo sismo, conduzindo-os aos *braced frames* perimetrais e às *shear walls* internas. Assim, os pisos em CLT não atuam apenas como elementos de suporte gravitacional, mas como parte ativa da lógica sísmica do edifício, articulando a transmissão de cargas entre os componentes estruturais. Essa leitura evidencia que a estabilidade global da edificação depende da atuação coordenada entre diafragma, paredes de CLT, contraventamentos em MLC e ligações dissipativas, configurando um sistema em que a estabilidade lateral é resolvida majoritariamente pela própria estrutura de madeira.

As ligações concentram boa parte da inovação do projeto. Nos *timber braced frames*, os RSFJs associam-se às extremidades dos contraventamentos em MLC [figura 4], permitindo deslocamentos cíclicos com dissipação de energia sem danos estruturais permanentes. Já nas CLT *shear walls*, o estudo indica que a estabilidade básica da parede é garantida pela conexão na base em concreto e pelas ligações com os diafragmas em cada nível, permitindo fixar os RSFJs diretamente aos painéis de CLT sem dispositivos adicionais de estabilização. Ou seja, os RSFJs também estão presentes nas paredes, mas ali qualificam o desempenho sísmico do conjunto, sem substituir a lógica portante da parede.

Figura 4 – Conexão entre os contraventamentos, os dispositivos RSFJs e as vigas e pilares.

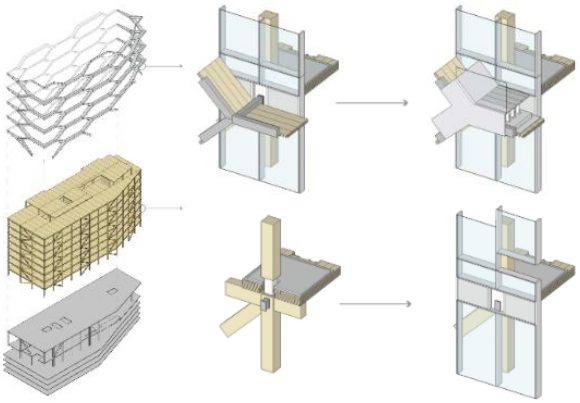


Fonte: DICKOF, et al. (2023).

[31] Para consulta complementar sobre o estudo de caso, ver DICKOF et al. (2023).
[32] Análise dinâmica não linear que simula o comportamento da estrutura ao longo do tempo sob registros sísmicos reais, permitindo avaliar seu desempenho além do regime elástico.
[33] Nível de ação sísmica adotado no dimensionamento estrutural para verificar o desempenho da edificação sob o evento de referência definido pela norma canadense NBCC de 2020.

No que se refere à durabilidade do material, o projeto articula estrutura exposta e proteção climática — resposta construtiva direta aos mecanismos de degradação discutidos na seção 2.4. No *The Hive*, a pele externa foi compatibilizada com a geometria do sistema estrutural interno [figura 5], além de *glazing* unitizado[34] e elementos de borda que resguardam a madeira da exposição direta à chuva e neve; essa estratégia de envelope reduz os ciclos de absorção e liberação de umidade que geram fadiga higroscópica na linha de cola, ao mesmo tempo em que minimiza o teor de umidade acumulado que, combinado às oscilações térmicas da costa de British Columbia, intensificaria a degradação por gelo-degelo e a consequente delaminação entre lâminas. Assim, a fachada não deve ser lida apenas como acabamento, mas como parte estratégica de desempenho higrotérmico e de preservação da durabilidade estrutural.

Figura 5 – Isométrica explodida com ênfase nos elementos que compõem a fachada.



Fonte: DIALOG (s.d.).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta investigação partiu da constatação de que a adaptabilidade da MLC e da CLT em Vancouver não pode ser compreendida por um único critério técnico, já que a cidade reúne risco sísmico elevado, variações climáticas intensificadas e um setor construtivo dependente de desempenho normativo. A análise permitiu identificar que a resposta dessas tecnologias resulta da articulação entre projeto estrutural, projeto arquitetônico e viabilidade industrial e regulatória.

No campo sísmico, a leveza do sistema, o amortecimento intrínseco e a ductilidade das ligações demonstram bom potencial, mas o megaterremoto da Zona de Subducção de Cascadia exige soluções específicas pelo seu comportamento de longa duração e baixas

[34] Sistema de fachada envidraçada pré-fabricado em módulos completos, instalados diretamente na estrutura do edifício.

frequências dominantes, o qual causa deformações residuais progressivas, sem colapso imediato; logo, a preocupação vai além da resistência inicial, integrando a resiliência pós-evento. No campo climático, verificou-se que a principal fragilidade não está no material bruto em si, mas nas interfaces adesivas e nos detalhes construtivos: ciclos de umidade, fadiga higroscópica e gelo-degelo comprometem a integridade do sistema estrutural exposto a esses elementos climáticos. Já no plano da viabilidade, a consolidação florestal, as certificações e as políticas provinciais criam condições favoráveis, mas insuficientes para adoção tecnicamente consistente em face das condições climáticas em constante progressão.

Portanto, essas tecnologias respondem à dupla exposição de Vancouver de forma parcial e condicionada: são tecnicamente capazes, mas sua adaptabilidade depende de atualização normativa e de detalhamento arquitetônico que considere a interação entre estrutura, clima e contexto. A pesquisa evidencia, assim, que o uso de *mass timber* em Vancouver não é mero aproveitamento de recursos ou identidade provincial, mas estratégia projetual sustentável capaz de mitigar vulnerabilidades locais e explorar vantagens estruturais diante dos desafios climáticos.

4. REFERÊNCIAS

BCFII — BC FOREST INNOVATION INVESTMENT. Hem-fir mass timber research project. Victoria: BCFII, 2021. Disponível em: https://www.bcfii.ca/wp-content/uploads/2021/02/hem-fir-mass-timber-ference-report-1.pdf. Acesso em: 10 mai. 2026.

BOHNHOFF, M.; MARTÍNEZ-GARZÓN, P.; BEN-ZION, Y. Global warming will increase earthquake hazards through rising sea levels and cascading effects. Seismological Research Letters, v. 95, n. 5, p. 2571-2576, 2024. DOI: 10.1785/0220240100.

CITY OF VANCOUVER. Greenest City 2020 action plan. City of Vancouver, 2011. Disponível em: https://vancouver.ca/green-vancouver/greenest-city-action-plan.aspx. Acesso em: 3 mai. 2026.

CITY OF VANCOUVER. Vancouver Building By-Law no. 12511. City of Vancouver, 2019. Disponível em: https://vancouver.ca/home-property-development/building-by-law.aspx. Acesso em: 3 mai. 2026.

COUNCIL OF FOREST INDUSTRIES (COFI). The economic impact of British Columbia's forest sector. Vancouver: COFI, 2024. Disponível em: https://cofi.org/wp-content/uploads/COFI-Technical-Report-2024-Final-April-9.pdf. Acesso em: 3 mai. 2026.

DIALOG. 2150 Keith Drive: an innovative and iconic 10-storey mass timber office building. Vancouver, BC: DIALOG, s.d., [fotografia]. Disponível em: https://dialogdesign.ca/projects/2150-keith-drive/. Acesso em: 19 jul. 2026.

DIAMOND SCHMITT. Marpole Community Centre. s.d. Disponível em: https://dsai.ca/projects/marpole-community-centre/. Acesso em: 28 jul. 2026.

DICKOF, C. et al. Case study: a 10-storey timber braced frame and CLT structure in Vancouver, BC. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2023, Oslo. Timber for a livable future. [S. l.]: Curran Associates, 2023. v. 1, p. 4345-4352. DOI: 10.52202/069179-0566.

FLEMING, P. H. Genealogy of Cross-Laminated Timber (CLT). In: FLEMING, P. H.; KOSHIHARA, M. (ed.). Cross-Laminated Timber: Pioneering innovation in massive wood construction. [S. l.]: Takenaka Carpentry Tools Museum; ETH Zurich, 2021. p. 15-44. DOI: 10.3929/ethz-b-000501847.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL (FSC). FSC-STD-01-001: Princípios e critérios para o manejo florestal responsável. Versão 5.3. Bonn: FSC, 2023. Disponível em: https://fsc.org/en/document-centre/documents/resource/392. Acesso em: 25 abr. 2026.

FPINNOVATIONS. Mass timber seismic force resisting systems in the Canadian codes. Vancouver: FPInnovations, 2020. Disponível em: https://library.fpinnovations.ca/link/fpipub8478. Acesso em: 3 mai. 2026.

FRANCO, J. T. "A Madeira Laminada Cruzada (CLT) é o concreto do futuro?" [¿Es la madera laminada cruzada (CLT) el hormigón del futuro?], 2020. ArchDaily em Português. (Trad. SOUZA, E). Disponível em: https://www.archdaily.com.br/pt/922665/a-madeira-laminada-cruzada-clt-e-o-concreto-do-futuro. Acesso em: 16 jul. 2026.

GAO, S.; ZHOU, L.; XU, M. Freeze-thaw effect on performance degradation of recycled glulam from structural members after cyclic loading. Journal of Building Engineering, v. 88, p. 109203, 2024. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.109203.

GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA. Mass timber action plan. Victoria: Ministry of Jobs, Economic Recovery and Innovation, 2022. Disponível em: https://www.britishcolumbia.ca/wp-content/uploads/RS4680-3827-MinistryJEG-Mass-Timber-8-pagerMar2026-CA-WEB.pdf. Acesso em: 3 mai. 2026.

GOVERNMENT OF BRITISH COLUMBIA. B.C. builders can now use mass timber in taller buildings. News Release, Victoria, 2024. Disponível em: https://news.gov.bc.ca/releases/2024HOUS0055-000522. Acesso em: 3 mai. 2026.

HCMA. Rosemary Brown Recreation Centre. s.d. Disponível em: <https://hcma.ca/project/rosemary-brown-recreation-centre/>. Acesso em: 28 jul. 2026.

INSTITUTO DE ARQUITETOS DO BRASIL – SÃO PAULO (IABsp). 14ª Bienal Internacional de Arquitetura de São Paulo: Extremos — arquiteturas para um mundo quente. São Paulo: IABsp, 2025. Disponível em: https://bienaldearquitetura.org.br. Acesso em: 25 abr. 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Chapter 9: Buildings. In: Climate change 2022: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-9/. Acesso em: 25 abr. 2026.

LARROQUE, C. Climate change will lead to an increase in earthquakes. Polytechnique Insights, Paris, 2024. Disponível em: https://www.polytechnique-insights.com/en/columns/planet/climate-change-will-lead-to-an-increase-in-earthquakes/. Acesso em: 3 mai. 2026.

NATURALLY WOOD. Brock Commons Tallwood House. s.d. Disponível em: https://www.naturally wood.com/projects/brock-commons-tallwood-house/. Acesso em: 28 jul. 2026.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de madeira. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

RAMAGE, M. H. et al. The wood from the trees: the use of timber in construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 68, p. 333–359, 2017.

ROGERS, G. et al. 5th generation seismic hazard model for Southwestern British Columbia. In: 11th Canadian Conference on Earthquake Engineering, 2015. Disponível em: https://www.seismescanada.rncan.gc.ca/hazard-alea/2015_11CCEE/11CCEE_Rogersetal_5th GenerationSeismicHazardModelSouthwesternBC.pdf. Acesso em: 3 mai. 2026.

SUSTAINABLE FORESTRY INITIATIVE (SFI). SFI 2022 standards and rules. Washington, D.C.: SFI, 2022. Disponível em: https://www.forests.org/standards/. Acesso em: 3 mai. 2026.

WOODSOLUTIONS. History of glued laminated timber. [S. l.]: WoodSolutions, [s. d.]. Disponível em: https://www.woodsolutions.com.au/publications/history-glued-laminated-timber. Acesso em: 19 jul. 2026.

ZARRILLO, A. The history of wood in constructions between past and present. Modern Environmental Science and Engineering, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2019.

Contatos: 10409748@mackenzista.com.br e alexandre.augusto@mackenzie.br