ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

As relações entre tecnologia e sustentabilidade no estudo da pré-fabricação e reuso da madeira

The relations between technology and sustainability in the study of prefabrication and reuse of wood

Beatriz Guilhermino Rodrigues da Costa
Universidade Federal de Uberlândia | Uberlândia | Brasil | beatriz.costa@ufu.br
Albenise Laverde
Universidade Federal de Uberlândia | Uberlândia | Brasil | albenise.laverde@ufu.br

Resumo

As discussões sobre a dimensão ambiental na concepção do Ambiente Construído têm sido crescentes nas últimas décadas, especialmente em relação à otimização de recursos naturais e aos impactos ambientais associados à produção e utilização de edificações. Dentro deste debate, destaca-se a madeira como matéria-prima de baixo impacto ambiental, devido à sua natureza renovável e à sua capacidade de armazenamento de carbono. No entanto, quando analisada sua cadeia produtiva, observa-se que o manejo e utilização inadequados podem comprometer o seu ciclo de vida sustentável. O presente estudo tem por objetivo analisar os conceitos e possibilidades construtivas da pré-fabricação e do reuso da madeira, visando o equilíbrio entre inovação tecnológica e a sustentabilidade. Por meio de revisão de literatura, observou-se a dualidade entre inovação tecnológica e alguns princípios da sustentabilidade ao analisar a cadeia produtiva de alguns componentes pré-fabricados em madeira. Também foram identificadas particularidades sobre a utilização da madeira de reuso para finalidades mais nobres, na busca do equilíbrio entre sustentabilidade e a inserção de novas tecnologias construtivas.

Palavras-chave: Tecnologia construtiva. Sustentabilidade. Construções em madeira. Pré-fabricação. Reuso da madeira.

Abstract

Discussions about the environmental dimension in the design of the Built Environment have been increasing in recent decades, especially in relation to the optimization of natural resources and the environmental impacts associated with the production and use of buildings. Within this debate, wood stands out as a raw material with low environmental impact, due to its renewable nature and its carbon storage capacity. However, when analyzing its production chain, it is observed that inadequate management and use can compromise its sustainable life cycle. The present study aims to analyze the concepts and constructive possibilities of prefabrication and reuse of wood, aiming for a balance between technological innovation and sustainability. Through a literature review, the duality between technological innovation and some sustainability principles was observed when analyzing the production chain of some prefabricated wooden components. Particularities were also identified regarding the use of

Como citar:
COSTA, B. G. R.; LAVERDE, A. As relações entre tecnologia e sustentabilidade no estudo da pré-fabricação e reuso da madeira. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

reused wood for more noble purposes, in the search for a balance between sustainability and the insertion of new construction technologies.

Keywords: Construction technology. Sustainability. Wood constructions. Prefabrication. Reuse of wood.

INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO

Atualmente, as discussões envolvendo a dimensão ambiental na concepção do Ambiente Construído ganharam novas vertentes, principalmente, relacionadas à otimização de recursos naturais e aos impactos ambientais associados à produção e à utilização de edificações. É possível haver uma relação positiva entre a tecnologia, a industrialização e o uso racional de matérias-primas renováveis e de baixo consumo energético, sendo a construção pré-fabricada considerada como uma solução alinhada à expansão da arquitetura sustentável, por reduzir o consumo de energia e materiais, promover sua reutilização e minimizar a produção de resíduos de construção [1].

A integração do conceito de sustentabilidade no Ambiente Construído – geralmente descrito como estruturas criadas ou modificadas pelo homem que proporcionam às pessoas espaços de vida, trabalho e lazer – valoriza o ecossistema com abordagens sustentáveis e potencializa a infraestrutura que se estabelece para as gerações futuras. Um Ambiente Construído sustentável permite salvaguardar e aprimorar o ambiente natural, ao mesmo tempo que promove diversos projetos de desenvolvimento urbano e trabalha a interação entre a natureza e o homem [2].

No contexto contemporâneo, novas estratégias de apropriação do espaço têm sido defendidas, como observado no trabalho dos arquitetos Lacaton e Vassal, ao questionarem a constante produção do novo e a substituição do existente, propondo possibilidades criativas da prática do reuso no contexto do Ambiente Construído, permitindo a reinterpretação dos elementos preexistentes [3]. Eles se afastam de princípios contemporâneos, que frequentemente favorecem a demolição, a remoção e a substituição, optando por acrescentar, transformar e reutilizar [4].

Dentro desse debate, destaca-se o material madeira, matéria-prima orgânica natural, biodegradável e de fonte renovável. Versátil e que apresenta bom desempenho mecânico, térmico e acústico, esse material ainda possui a vantagem de ser ambientalmente sustentável, com baixo consumo energético no processo de usinagem em relação a outros materiais construtivos, e capacidade de armazenamento de carbono [5]. Seu aumento expressivo na construção é um meio eficiente de minimizar o crescimento do efeito estufa, visto que este se deve, principalmente, ao aumento da taxa de CO2 na atmosfera. Esse gás é absorvido durante a fotossíntese, e assim o carbono é fixado na madeira e permanece estocado nos componentes construtivos [1][6].

No entanto, quando analisada a cadeia produtiva da madeira, observa-se que práticas inadequadas de manejo e utilização do material podem comprometer seu ciclo de vida sustentável. Sua extração pode seguir processos distintos: o manejo sustentável, cujo foco recai na exploração controlada de recursos, permitindo a recuperação natural da floresta e evitando impactos ambientais nas regiões de plantios florestais; e a

exploração convencional, caracterizada por seu foco imediatista, feita de maneira insustentável a partir do desmatamento, negligenciando os impactos ambientais causados, como degradação ambiental e perda de biodiversidade [7].

Analisando sequencialmente sua cadeia produtiva, a madeira pode ser processada em componentes com diferentes técnicas, seja na forma maciça ou industrializada, utilizando ou não aditivos e adesivos em sua composição, assim como, pode ser submetida a diversos tratamentos preservantes, em que o grau de toxicidade está diretamente associado ao contexto em que for empregada [8]. Os produtos adesivos possuem um papel importante no desempenho dos componentes de madeira e são empregados em técnicas específicas, como MLC, CLT e painéis de derivados, permitindo a fabricação de estruturas e componentes cada vez mais complexos [9]. Entretanto, dependendo da forma como a madeira for trabalhada, as substâncias adicionadas podem dificultar o reuso do material [10].

As dicotomias supracitadas podem gerar conflitos em relação à natureza sustentável da madeira, levantando questões sobre o uso de práticas de pré-fabricação e reuso como uma conexão entre tecnologia e sustentabilidade no Ambiente Construído. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar os conceitos e possibilidades construtivas relacionadas à pré-fabricação e ao reuso da madeira, vinculando as análises realizadas e identificando lacunas de pesquisa sobre o tema, na busca pelo equilíbrio entre inovação tecnológica e a sustentabilidade ambiental.

MÉTODO

O presente trabalho, de caráter exploratório, consiste em uma revisão de literatura centrada em algumas unidades de análise como a pré-fabricação e o reuso da madeira. A pesquisa preliminar revelou que esses temas são frequentemente tratados de forma dissociada, com indicativos sobre a importância de ampliar os estudos sobre as relações entre tecnologia e sustentabilidade nas práticas estudadas.

Para alcançar os objetivos propostos, foi adotada uma abordagem qualitativa de pesquisa [11][12], estruturada nas seguintes etapas:

a) Delimitação e análise da dimensão ambiental da sustentabilidade, com foco nas unidades de análise;
b) Pesquisa bibliográfica e documental sobre os conceitos projetuais e as possibilidades e práticas construtivas envolvendo a pré-fabricação e o reuso da madeira;
c) Pesquisa bibliográfica e documental sobre o desenvolvimento de inovações relacionadas às tecnologias de produtos, processos e sistemas construtivos norteadas pela sustentabilidade;
d) Pesquisa documental sobre processos de desenvolvimento de produtos ligados à construção civil, tanto no âmbito acadêmico como industrial.

As análises foram desenvolvidas a partir dos conceitos, definições e dados obtidos nas fontes consultadas, sendo adotada como estratégia geral:

a) Organização dos dados coletados segundo significância previamente estabelecida, sistematizando-os a fim de facilitar a consulta posterior;
b) Triangulação de dados e explanação dos resultados alcançados, com a identificação de lacunas e potencialidades de pesquisa sobre o tema estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cenário contemporâneo, há um interesse crescente na indústria da construção civil pelo desenvolvimento de abordagens e processos que permitam maior eficiência, precisão, consciência ambiental, melhor uso da força de trabalho e ciclos de produção reduzidos [13]. O desenvolvimento de técnicas de pré-fabricação, em conjunto com a utilização de novas tecnologias nas fases de projeto e construção, promove uma nova forma de pensar o Ambiente Construído em termos de ecoeficiência, com redução na utilização de energia e materiais, diminuição do desperdício durante a construção, maior versatilidade e flexibilidade espacial [14][15].

A pré-fabricação e a modularidade são alternativas plausíveis à fonte primária de resíduos que ocorre nas fases de projeto e construção [16]. Essas práticas ao longo da história da arquitetura são essenciais para compreender os conceitos e métodos de evolução da construção focados na reutilização dos materiais. Mesmo quando são empregadas fontes renováveis que, em adição estocam carbono, como a madeira, os benefícios ambientais são maximizados quando os materiais são utilizados pelo maior tempo possível e planejados de acordo com a Economia Circular [10].

Uma questão importante quando estudado o conceito de Economia Circular no Ambiente Construído é a extensão da vida útil do edifício. Se este precisar ser desmontado, deve ser possível reutilizá-lo por completo, reutilizar seus componentes com as menores modificações possíveis ou com a menor perda de material, planejando o processo de desmontagem durante a etapa de projeto. Quando os componentes não puderem ser reutilizados, a reciclagem de seus materiais, conforme sua composição, possibilita um novo uso. Por fim, os materiais devem ser tratados de forma a permitir sua incorporação futura à natureza ou combustão para produção de energia, evitando o uso de determinados adesivos e produtos preservantes que possam dificultar esse processo ao longo da cadeia produtiva [10].

Trabalhos recentes têm abordado a necessidade de alcançar a sustentabilidade absoluta no Ambiente Construído, em que o termo “absoluta” denota uma sustentabilidade que não é relativa e requer um planejamento abrangente [17]. Nesse contexto, a recuperação de materiais para reutilização emerge como uma prioridade [18], enquanto abordagens projetuais voltadas para reuso, desmontagem, ou desconstrução, são integradas ao conceito da Economia Circular, alinhadas à prática da pré-fabricação, visando estabelecer um vínculo entre tecnologia e sustentabilidade.

O projeto voltado para desmontagem visa reduzir o consumo de materiais, os custos e os desperdícios na construção civil, eliminando resíduos não reintroduzíveis nos ciclos, e, consequentemente, reduzindo a interdependência física e simplificando os sistemas [19]. Para sua correta implementação, é necessário que as estruturas pré-

fabricadas e seus métodos de fixação sejam construídos de maneira a facilitar o processo de desmontagem. Caso contrário, a utilização de métodos inadequados ou estruturas construídas sem consideração para esse processo podem resultar em danos aos materiais durante a desmontagem, inutilizando alguns componentes [20].

A desmontagem adequada de estruturas viabiliza o reuso de seus componentes, destacando a madeira como um dos principais materiais para essa prática. Sua utilização pode ser realizada da maneira mais natural à industrializada, e pesquisas recentes avaliaram o potencial da madeira serrada enquanto material que contribui para o conceito de circularidade. O sistema construtivo de pilar-viga em madeira maciça foi caracterizado como solução projetual de alto desempenho, e foi evidenciado que o uso da madeira serrada na construção não demanda grandes transformações do material, pois este pode ser utilizado da forma mais natural possível, sem composição com outros materiais, através de sistemas de encaixes ou conexões. Com um bom projeto executivo e proteção dos materiais empregados, a durabilidade do sistema construtivo é garantida, tornando a madeira passível de reutilização e adaptação em novas edificações [21].

O uso da madeira também resulta em menor consumo de energia e emissões de CO2 quando empregada em cascata, ou seja, através da reutilização e reciclagem em sequência. Além disso, a maior economia de recursos é alcançada ao se optar pela madeira sólida recuperada em vez de madeira virgem, pois, a longo prazo, a reutilização e a reciclagem da madeira contribuem para o armazenamento de carbono e potencialmente reduzem as emissões de CO2 ao substituir materiais não lenhosos [22]. Assim, antes de decidir pelo uso da madeira em um projeto baseado apenas em suas credenciais ambientais, é preciso considerá-la de acordo com toda a sua cadeia produtiva [23].

Os produtos de madeira reconstituída emergem atualmente como uma alternativa à madeira maciça, oferecendo várias vantagens. Estes produtos aproveitam quase completamente a matéria-prima, permitindo que defeitos encontrados na madeira serrada, como nós, se tornem irrelevantes, sem comprometer o desempenho do produto final. Adicionalmente, proporcionam um controle mais preciso sobre as propriedades físicas e mecânicas do material, enquanto também exibem poucas limitações em relação às dimensões das peças [24].

A matéria-prima voltada à confecção de componentes com madeira reconstituída é predominantemente proveniente de florestas plantadas direcionadas para sua fabricação, sendo raro o uso de madeiras de rejeito ou reuso [25]. Atualmente, novas formas de utilização da madeira reconstituída são exploradas, e estudo recente investiga novos usos do material para finalidades estruturais. Foram destacadas diferentes técnicas disponíveis, contudo, observou-se que a maior parte dos avanços na área está direcionada ao desenvolvimento de novos adesivos, aditivos e processos de usinagem. Tais inovações são fundamentais para a diversidade de produtos derivados da madeira reconstituída, refletindo as particularidades de processamento desse material e a demanda por aplicações específicas [24].

Os produtos de madeira reconstituída têm demonstrado versatilidade crescente, sendo empregados em aplicações cada vez mais complexas (Figura 1). Destacam-se algumas possibilidades de uso estrutural desses materiais, como a aplicação de LSL (*Laminated Strand Lumber*) em pórticos, a utilização de LVL (*Laminated Veneer Lumber*) para construção de uma edificação completa, desde a estrutura até a cobertura, e o uso de painel sanduíche composto pela combinação de compensado estrutural e ossatura em LVL, aplicado de forma estrutural em uma cobertura curva em forma de casca, exemplificando a aplicabilidade desses materiais em funções nobres e desafiadoras.

Figura 1 - Aplicações da madeira reconstituída. Aplicação LSL (*Laminated Strand Lumber*) (à esquerda). Aplicação LVL (*Laminated Veneer Lumber*) (ao centro). Aplicação compensado estrutural e LVL em painel sanduíche (à direita).



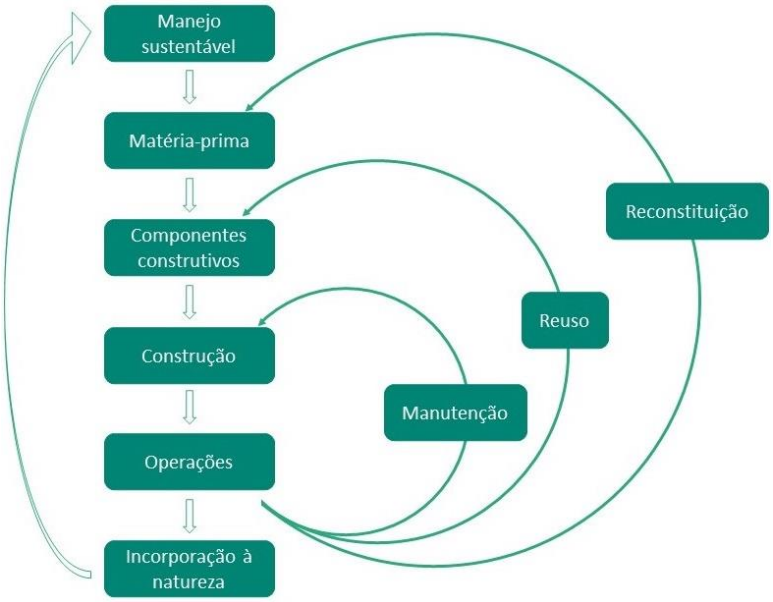
Fonte: StructureCraft. Disponível em: https://structurecraft.com/projects/sait-parkade-skylight. Acesso em: 05 maio 2024; MyWoodHome. Disponível em: https://mywoodhome.com.br/2022/02/16/exclusivo-um-guia-para-o-uso-da-madeira-em-massa-na-arquitetura/. Acesso em: 05 maio 2024; Architect. Disponível em: https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/toranoko-nursery-laminated-veneer-lumber-roof_o. Acesso em: 05 maio 2024.

Os adesivos possuem um papel importante no desempenho dos componentes de madeira, permitindo a fabricação de estruturas cada vez mais complexas [9]. Entretanto, dependendo da forma como a madeira for trabalhada, as substâncias e aditivos adicionados podem impossibilitar o reuso do material, visto que até os dias atuais, os principais adesivos utilizados são sintéticos e à base de derivados do petróleo, que não são renováveis [26]. Além disso, se os resíduos de madeira forem reutilizados ou reciclados para finalidades voltadas à construção civil, devem estar isentos de materiais aditivos e preservativos tóxicos, resultantes de utilizações anteriores aplicados na intenção de aumentar sua resistência a organismos xilófagos, assim como, a presença de quaisquer impurezas metálicas que possam danificar as máquinas durante o reprocessamento [10].

A busca por soluções mais eficientes e sustentáveis para o uso da madeira na construção civil enfrenta desafios técnicos e econômicos. Estudos recentes apontam a falta de produtos de madeira concebidos para múltiplos usos e incertezas sobre a durabilidade do material como barreiras à adoção da madeira de reuso. Além disso, a falta de incentivos, a predominância da destinação da madeira de reuso para a produção de energia, a ausência de procedimentos padronizados e a menor valorização dos resíduos de madeira em comparação com outros materiais dificultam a transição para o uso da madeira conforme os princípios da Economia Circular [27][28].

Nesse contexto, a abordagem holística da circularidade do material madeira, como exemplificado na Figura 2, surge como uma alternativa promissora. Além de prolongar a vida útil da matéria-prima e reduzir os custos de materiais, essa abordagem visa mitigar a energia incorporada e as emissões de carbono na indústria da construção [20]. No entanto, as pesquisas atuais concentram-se na identificação das melhores práticas de desmontagem e reutilização da madeira na escala dos componentes, revelando uma lacuna de conhecimento em relação à escala da construção e à escala urbana [18].

Figura 2 – Princípios da Economia Circular na cadeia construtiva da madeira.



Fonte: autores (2024), adaptado de: Ellen MacArthur Foundation; World Economic Forum; The Boston Consulting Group. Disponível em: https://www.weforum.org/publications/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/. Acesso em: 17 maio 2024.

TRABALHOS RECENTES RELACIONADOS ÀS PRÁTICAS DE PRÉ-FABRICAÇÃO E REUSO DO MATERIAL MADEIRA

Estudos atuais destacam a importância da madeira na construção civil para a redução de resíduos e promoção de práticas sustentáveis, através de práticas de pré-fabricação e reutilização do material. Um estudo envolveu a análise de novas tipologias arquitetônicas passíveis de reutilização através da pré-fabricação (Figura 3), verificando que essa prática aumenta a segurança e a qualidade da construção, enquanto reduz o tempo, o custo, o desperdício de materiais e o impacto ambiental [19]. Outro estudo apresenta iniciativa similar, investigando a construção de um pavilhão com madeira de reuso, projetado e construído como parte de uma disciplina ministrada na Escola de Arquitetura e Design de Oslo. O foco foi o desenvolvimento de sistemas de encaixes e conexões (Figura 3), para explorar as possibilidades de montagem e futura reutilização do material, e os protótipos finais foram exibidos na *World Conference on Timber Architecture* 2023 [10].

Diretrizes para produção artesanal de painéis verticais de vedação em madeira pré-fabricados em canteiro também foram desenvolvidas (Figura 3), destacando a importância dessa prática, do uso de ferramentas manuais e equipamentos básicos de

marcenaria, priorizando seções disponíveis localmente, seja de rejeito ou comerciais [29]. Outros estudos exploram a reutilização de resíduos de madeira e a desmontagem seletiva de estruturas, demonstrando alternativas viáveis para o uso sustentável deste material na construção. São compartilhadas maneiras de reaproveitar os resíduos de madeira na África através de estudo de caso de um edifício construído em madeira de reuso proveniente de indústria madeireira local [30]. Foi apresentada também uma estratégia para edifícios com estrutura em madeira, com o uso otimizado do material (Figura 3), seguindo o conceito de desmontagem seletiva, no qual o processo é executado na sequência reversa da construção [31].

Figura 3 – Estudos de reutilização da madeira. Proposta de tipologia arquitetônica reutilizável (à esquerda acima). Reuso da madeira através de encaixes (à direita acima). Protótipo de painel vertical de vedação em madeira pré-fabricado em canteiro (à esquerda abaixo). Modelos de montantes com uso otimizado de material (à direita abaixo).



Fonte: Silva et al. (2020); Groba e Blumer (2023); Ghellere (2020); Klinge et al. (2019).

Algumas pesquisas destacam a importância do envolvimento de organizações públicas e privadas na promoção do uso da madeira para prolongar os ciclos de vida dos produtos através da circularidade do material [32][33]. Um exemplo é a parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e o Sindicato das Indústrias do Mobiliário e de Artefatos de Madeira no Estado de Minas Gerais (Sindimov-MG) para desenvolver tecnologias inovadoras, como a Tecnologia Ligno [34], que reutiliza resíduos da indústria moveleira e propõe a reinserção desses resíduos no seu processo produtivo.

Outras linhas de pesquisa, tanto internacionais quanto nacionais, buscam alternativas menos impactantes para componentes à base de adesivos. Um estudo propõe o uso de alternativas naturais aos derivados do petróleo, como óleo de mamona, silicatos e taninos, oriundos de fontes renováveis. No entanto, é ressaltado o desafio de produção dos adesivos naturais em escala industrial [26]. Outra pesquisa relevante discute a necessidade do avanço de pesquisas sobre adesivos de matéria-prima renovável, evidenciando que adesivos derivados de resíduos de biomassa lignocelulósica são uma alternativa econômica e ambientalmente sustentável [35]. Esses trabalhos oferecem uma visão abrangente e integrada das possibilidades

construtivas emergentes e dos desafios associados ao uso mais sustentável da madeira na construção civil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada identificou novos debates sobre a viabilidade de estabelecer uma relação benéfica entre tecnologia, industrialização e a utilização sustentável de matérias-primas renováveis e de baixo consumo energético, por meio da pré-fabricação e reuso da madeira. O desenvolvimento de técnicas de pré-fabricação estimula uma abordagem inovadora na construção, fomentando a ecoeficiência pela redução do consumo de energia e materiais, a minimização de resíduos durante o processo construtivo, e a ampliação da versatilidade e adaptabilidade. Tal abordagem também fomenta a reutilização de materiais, ao facilitar a desmontagem futura da edificação.

Entretanto, foi evidenciada uma dualidade entre inovação tecnológica e alguns princípios da sustentabilidade ao analisar a cadeia produtiva de componentes pré-fabricados em madeira e produtos derivados. Por um lado, os benefícios ambientais do uso da madeira são maximizados quando planejados a partir do conceito da Economia Circular. Por outro lado, a priorização de adesivos sintéticos utilizados em produtos derivados da madeira, provenientes de matéria-prima não renovável, levanta preocupações sobre a sustentabilidade e a possibilidade futura de reuso, dificultando o reaproveitamento e comprometendo práticas mais sustentáveis.

Um desafio encontrado foi a escassez de bibliografias que vinculem diretamente as práticas de pré-fabricação e reuso ao uso da madeira. A maior parte das fontes literárias disponíveis trata esses temas de forma isolada, dificultando uma visão integrada e abrangente. Essa limitação evidencia a necessidade de ampliação de pesquisas interdisciplinares que explorem a interseção dessas práticas com o uso da madeira, promovendo uma compreensão mais holística e aprofundada.

A compreensão dos conceitos e possibilidades construtivas da pré-fabricação e reuso do material deve ser um tópico integrante da investigação científica, com a busca pelo equilíbrio entre inovação tecnológica e sustentabilidade. Há, portanto, uma necessidade de vincular diretamente as pesquisas acadêmicas ao setor industrial e construtivo, visando parcerias entre os setores na busca de objetivos comuns. Dessa forma, os contínuos avanços tecnológicos no âmbito do uso do material madeira e a sua integração em práticas sustentáveis são um importante ponto na busca pela criação de um Ambiente Construído ambientalmente responsável.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da agência de fomento Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

[1] GAUZIN-MULLER, D. **Arquitetura Ecológica**. 1. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2011.

[2] PACHOURI, V. *et al.* Empowering sustainability in the built environment - a technological Lens on industry 4 Enablers. **Technology in Society**, n. 76, 2024.

[3] ROSENBUSCH, M. **Lacaton & Vassal: Uma análise do conceito e apropriação, seus significados e motivações na arquitetura contemporânea**. 2018. 129 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Rio de Janeiro, 2018.

[4] PANZINI, N.; QUADRATO, V. Pre-existence and prefabrication. Lacaton & Vassal: methodologies for social housing renovation. **TECHNE**, v. 24, p. 52–62, 31 out. 2022. DOI: https://doi.org/10.36253/techne-12811.

[5] INO, A.; SHIMBO, L. **Projetar e construir com madeira**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2024.

[6] HERZOG, T. **Timber Construction Manual**. Berlin: Birkhauser, 2004.

[7] FIGUEIREDO, A.; SHIGUE, E. MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL SUSTENTÁVEL: ASSOCIAÇÕES E CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS. **IX ENCONTRO NACIONAL, VII ENCONTRO LATINOAMERICANO, II ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS**, 10 maio 2017.

[8] LELIS, A. *et al.* **Biodeterioração de madeiras em edificações**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2001.

[9] KOLLMANN, F.; KUENZI, E.; STAMM, A. **Principles of Wood Science and Technology**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1975.

[10] GROBA, U.; BLUMER, S. **RE:SOURCE PAVILION - EXPLORING THE CIRCULAR USE OF WOODEN BUILDING MATERIALS.** 13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023. **Anais**...World Conference on Timber Engineering (WCTE), 2023. DOI: http://doi.org/10.52202/069179-0472.

[11] GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. **Métodos de Pesquisa**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

[12] SERRA, G. **Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação**. São Paulo: Edusp, 2006.

[13] SMITH, R. **Prefab architecture: a guide to modular design and construction**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

[14] SANTOS, D. **Prefab Architecture**. Barcelona, Spain: LOFT Publications, 2010.

[15] PIRINA, C.; COMI, G.; FRANGIPANE, A. ASSEMBLY AND DISASSEMBLY The module as a compositional element for a 'new' sustainability: the Spanish case. **Agathon**, v. 14, p. 106–115, 31 dez. 2023. DOI: http://doi.org/10.19229/2464-9309/1482023.

[16] SILVA, M. Another way of living: The prefabrication and modularity toward circularity in the architecture. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 588, n. 4, 2020. DOI: http://doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042048.

[17] ANDERSEN, S. *et al.* Ten questions concerning absolute sustainability in the built environment. **Building and Environment**, n. 251, 2024.

[18] PASSARELLI, R. Design for Disassembly and Reuse of Timber in Construction: Identification of Trends and Knowledge Gaps. *Em*: **Creating a Roadmap Towards Circularity in the Built Environment, Springer Tracts in Civil Engineering**. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024. p. 57–67. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-031-45980-1_6.

[19] SILVA, M. *et al.* Recyclable architecture: Prefabricated and recyclable typologies. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2020. DOI: http://doi.org/10.3390/su12041342.

[20] RIOS, F.; CHONG, W.; GRAU, D. **Design for Disassembly and Deconstruction - Challenges and Opportunities.** Procedia Engineering. **Anais**...Elsevier Ltd, 2015. DOI: http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485.

[21] TAVARES, S.; INO, A.; OMETTO, A. Construção em Madeira e Edificação Circular: potencialidades para a sustentabilidade. **6 INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION**. 2017.

[22] PICCARDO, C.; HUGHES, M. Design strategies to increase the reuse of wood materials in buildings: Lessons from architectural practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 368, n. December 2021, 2022. DOI: http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133083.

[23] PRADO, L.; PINTO, E.; INO, A. O uso da madeira na arquitetura eco-tech: uma dialética entre urgência ecológica e expressão tecnológica. **XVII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 2021.

[24] LAVERDE, A.; BARBOSA, M. **CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL COM MADEIRA RECONSTITUÍDA.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO, 7. **Anais**...Even3, 16 nov. 2021. DOI: http://doi.org/10.29327/sbqp2021.438071.

[25] CHILETTO, T. **HABITAÇÕES DE MADEIRA: INVESTIGAÇÃO DO CROSS-LAMINATED TIMBER COMO ALTERNATIVA PARA O MORAR SUSTENTÁVEL NO BRASIL**. 2022. 260 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

[26] MORAIS, Z. *et al.* Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**. v. 22, n. 51, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.20435/multi.v22i51.1412.

[27] NIU, Y. *et al.* Prolonging life cycles of construction materials and combating climate change by cascading: The case of reusing timber in Finland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, 1 jul. 2021. DOI: http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105555.

[28] SCHUSTER, S.; GEIER, S. **CircularWOOD - Towards Circularity in Timber Construction in the German Context.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais**...Institute of Physics, 2022. DOI: http://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012030.

[29] GHELLERE, F. **Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira**. 2020. 172 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

[30] NSUMBU, H. *et al.* **Development of a new type of building in tropical regions based on the energetic performance and recovery of recycled wood.** 13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023. **Anais**...World Conference on Timber Engineering (WCTE), 2023. DOI: http://doi.org/10.52202/069179-0510.

[31] KLINGE, A. *et al.* **Strategies for circular, prefab buildings from waste wood.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais**...Institute of Physics Publishing, 25 fev. 2019. DOI: http://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012052.

[32] KUZMAN, M. *et al.* Exploring attitudes towards extending lifecycle of wood products by cascading: a case study in Bosnia and Herzegovina, Croatia, Serbia, and Slovenia. **Wood Material Science and Engineering**, 2023. DOI: http://doi.org/10.1080/17480272.2023.2294345.

[33] SHIGUE, E. Panorama do uso da madeira na construção civil no Brasil: empresas e produtos. **XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira**, 2018.

[34] DUARTE, A. *et al.* Tecnologia Ligno: desenvolvimento tecnológico para compósitos de resíduos de madeira da indústria moveleira. *Em*: **Tecnologia, Sociedade e Cultura: um**

contexto de interação. Brasil: Geplam Assessoria: Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da UFMG, 2023. p. 195–215.

[35] HUSSIN, M. *et al.* Latest advancements in high-performance bio-based wood adhesives: A critical review. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 21, p. 3909–3946, 1 nov. 2022. DOI: http://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.156.