v7.n10.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

RASTREABILIDADE INFORMACIONAL E DESMONTE DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES: UMA PROPOSTA DE PASSAPORTE DIGITAL DE MATERIAIS PARA OS DOCUMENTOS DE AVALIAÇÃO TÉCNICA

INFORMATION TRACEABILITY AND DISASSEMBLY IN INNOVATIVE BUILDING SYSTEMS: A PROPOSAL FOR INTEGRATING DIGITAL MATERIAL PASSPORTS INTO BRAZILIAN TECHNICAL ASSESSMENT DOCUMENTS (DATECS)

TRAZABILIDAD DE LA INFORMACIÓN Y DESMONTAJE DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INNOVADORES: UNA PROPUESTA DE PASAPORTE DIGITAL DE MATERIALES PARA LOS DOCUMENTOS DE EVALUACIÓN TÉCNICA

Pâmela Bruna Araújo de Melo[1], Maria Adalberta Narciso[2], Leonardo Oliveira[3], Adla Kellen Dionisio[4]

e7109201
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i10.9201

PUBLICADO: 10/2026

RESUMO

A transição para uma economia circular na construção depende da possibilidade de desmontagem e da disponibilidade de informações sobre materiais, componentes, conexões e alternativas de fim de vida. Este estudo avaliou se os Documentos de Avaliação Técnica (DATecs), emitidos no âmbito do PBQP-H, fornecem informações para o desmonte, a rastreabilidade e a estruturação de passaportes digitais de materiais. Para isso, foi realizada uma pesquisa documental em uma seleção de 14 DATecs. Os documentos foram analisados por meio de uma lista de critérios organizada em três categorias: sistema construtivo, materiais e componentes e rastreabilidade e informação. Os resultados indicam que nenhum documento apresenta de forma completa os pontos e a sequência de desmonte. Além disso, nenhum dos documentos fornece informações suficientes para avaliar a toxicidade dos materiais. Adicionalmente, foram identificadas limitações na identificação de conexões, composição dos componentes, custos, tempo de desmontagem e possibilidades de reuso. Com base nos resultados observados, propõe-se a implantação do Passaporte Digital de Materiais para os DATecs. A proposta prevê que, quando o DATec for submetido ou renovado, contenha um modelo digital com dados completos de: rastreabilidade e identificação digital; composição química, toxicidade e saúde; reversibilidade, conexões e manual de desmonte; e desempenho de ciclo de vida e circularidade. Essa proposta pode contribuir para uma futura integração dos DATecs com modelos *BIM* e o Passaporte Digital de Materiais, com potencial para aumentar a rastreabilidade e a circularidade dos sistemas construtivos inovadores, e, assim, favorecer o atendimento aos princípios da Economia Circular e do *Design for Disassembly*.

PALAVRAS-CHAVE: Economia Circular. Sistemas construtivos inovadores. Rastreabilidade. Passaporte Digital de Materiais.

[1] Graduanda em Engenharia Civil pela UFERSA, Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela UFERSA. Atuou em pesquisa sobre sistemas construtivos inovadores.

[2] Engenheira Civil pela UFERSA, Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela UFERSA. Atuou em pesquisa sobre sistemas construtivos inovadores.

[3] Docente na UFRN. Possui doutorado em Engenharia Civil pela Unicamp e mestrado e graduação em Engenharia Civil pela UFRN. Atua em pesquisas sobre estruturas de concreto e análise estrutural.

[4] Docente na UFRN. Possui doutorado em Engenharia Civil pela Unicamp e mestrado e graduação em Engenharia Civil pela UFRN. Atua em pesquisas sobre patologia das construções e sistemas construtivos inovadores.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ABSTRACT

The transition to a circular economy in construction depends on the possibility of disassembly and the availability of information on materials, components, connections, and end-of-life alternatives. This study assessed whether the Brazilian Technical Assessment Documents (DATecs), issued under the Brazilian Habitat Quality and Productivity Program (PBQP-H), provide sufficient information to support disassembly, traceability, and the development of digital material passports. For this, documentary research was conducted on a selection of 14 DATecs. The documents were analysed using a list of criteria organised into three categories: building systems; materials and components; and traceability and information. The results indicate that none of the documents fully identify the disassembly points and sequences. Furthermore, none provides sufficient information to assess material toxicity. Limitations were also identified regarding the characterisation of connections, component composition, disassembly costs and time, and reuse possibilities. Based on these findings, the implementation of a Digital Material Passport for DATecs is proposed. The proposal requires each DATec, upon submission or renewal, to include a digital model containing comprehensive data on traceability and digital identification; chemical composition, toxicity, and health; reversibility, connections, and disassembly instructions; and life-cycle performance and circularity. This proposal may support the future integration of DATecs with BIM models and Digital Material Passports, with the potential to improve the traceability and circularity of innovative building systems and contribute to compliance with the principles of the Circular Economy and Design for Disassembly.

KEYWORDS: *Circular Economy. Innovative Building Systems. Traceability. Digital Material Passport.*

RESUMEN

La transición hacia una economía circular en la construcción depende de la posibilidad de desmontaje y de la disponibilidad de información sobre materiales, componentes, conexiones y alternativas de fin de vida. Este estudio evaluó si los Documentos de Evaluación Técnica (DATecs), emitidos en el ámbito del PBQP-H, proporcionan información para el desmontaje, la trazabilidad y la elaboración de pasaportes digitales de materiales. Se realizó una investigación documental con una selección de 14 DATecs, analizados mediante criterios organizados en tres categorías: sistemas constructivos; materiales y componentes; y trazabilidad e información. Los resultados indican que ningún documento identifica de manera completa los puntos y la secuencia de desmontaje. Además, ninguno proporciona información suficiente para evaluar la toxicidad de los materiales. También se identificaron limitaciones relacionadas con las conexiones, la composición de los componentes, los costos y el tiempo de desmontaje y las posibilidades de reutilización. Con base en estos resultados, se propone la incorporación del Pasaporte Digital de Materiales a los DATecs. La propuesta establece que cada DATec, al ser presentado o renovado, incluya un modelo digital con datos sobre trazabilidad e identificación; composición química, toxicidad y salud; reversibilidad de las conexiones y manual de desmontaje; y desempeño del ciclo de vida y circularidad. Esta propuesta puede contribuir a la futura integración de los DATecs con modelos BIM, ampliar la trazabilidad y favorecer la circularidad de los sistemas constructivos innovadores, de acuerdo con los principios de la Economía Circular y del Design for Disassembly.

PALABRAS CLAVE*: Economía Circular. Sistemas constructivos innovadores. Trazabilidad. Pasaporte Digital de Materiales.*

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1. INTRODUÇÃO

O acelerado processo de urbanização global e a crescente demanda habitacional indicam que a população irá atingir mais de 9,7 bilhões de indivíduos até 2050 (United Nations, 2024). Com isso, o consumo mundial de materiais também poderá aumentar. Neste cenário, o setor da construção civil destaca-se como um dos principais vetores de impacto ambiental, sendo responsável por aproximadamente 40% da extração de recursos naturais (Benachio; Freitas; Tavares, 2020; Pomponi; Moncaster, 2017) e cerca de 30% a 40% das emissões de CO_2 (Kovacic; Honic; Sreckovic, 2020; Mhatre; Gedam; Unnikrishnan, 2021; Petrović; Pavlović; Radivojević, 2022). Além disso, as atividades de demolição representam 90% do total de resíduos de construção e demolição gerados (Benachio; Freitas; Tavares, 2020; Shojaei *et al.*, 2021) ao final da vida útil das construções. No cenário brasileiro, a elevada geração de resíduos de construção e demolição (RCD) atingiu 100,8 milhões de toneladas em 2024, volume que já supera a massa de resíduos sólidos urbanos do país (ABREMA, 2025).

Diante disso, observa-se uma transição necessária do modelo linear de “extrair-produzir-descartar” para o modelo da Economia Circular (EC). Esse modelo propõe que materiais e componentes permaneçam em uso pelo maior tempo possível, mantendo seu valor máximo de utilidade em ciclos fechados (Hopkinson *et al.*, 2019; Benachio; Freitas; Tavares, 2020). No setor da construção, essa visão define a edificação como um Banco de Materiais (*Material Bank*), que consiste em um estoque temporário de recursos prontos para reinserção em novos ciclos produtivos (Geldermans, 2016; Rose; Stegemann, 2019; Heinrich; Lang, 2019). Esse conceito é chamado por Rose e Stegemann (2019) de E-BAMB. Um ponto importante dessa mudança é o *Design for Disassembly* (*DfD*), ou projeto para desmonte, que visa possibilitar a desconstrução planejada das estruturas (Rios; Chong; Grau, 2015), permitindo o reuso direto de componentes (Güngör *et al.*, 2024) e reduzindo a dependência de matérias-primas virgens (Webster, 2007). O *DfD* se baseia em diversos princípios destinados a facilitar a desmontagem de edifícios.

No Brasil, no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SiNAT) regulamenta os sistemas construtivos inovadores por meio dos Documentos de Avaliação Técnica (DATec). Contudo, embora esses sistemas (como *steel frame*, *wood frame* e pré-fabricados de concreto) possuam, em teoria, um elevado potencial de desmonte, os DATecs ainda focam principalmente em requisitos de desempenho, segurança e habitabilidade, negligenciando diretrizes para a circularidade e o fim de vida útil (Narciso *et al.*, 2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A principal barreira para a implementação da circularidade é a lacuna informacional: a falta de rastreabilidade e de dados sobre a composição e o histórico dos materiais ao longo do ciclo de vida (Santana; Ribeiro, 2022; Morganti *et al.*, 2023; Kempton; Boehme; Amirghasemi, 2024). Para superar essa limitação, é preciso fazer uma transição para a adoção da economia circular e de tecnologias digitais. Essa abordagem propõe que a transição para modelos construtivos mais circulares seja acompanhada pelo uso de tecnologias digitais capazes de registrar, monitorar e compartilhar informações ao longo do ciclo de vida das edificações.

Diante da limitada integração entre as diretrizes normativas nacionais e as tecnologias voltadas à circularidade na construção civil, este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de desmonte de sistemas construtivos inovadores no âmbito do PBQP-H e analisar em que medida as informações disponibilizadas nos DATecs podem apoiar estratégias de rastreabilidade digital baseadas em BIM e Passaportes de Materiais. Busca-se identificar lacunas na documentação técnica e discutir como essas informações podem colaborar para promover a adoção de práticas alinhadas à economia circular. Ao final, propõe-se a implantação do Passaporte Digital de Materiais nos Documentos de Avaliação Técnica, por meio da incorporação de novos módulos aos sistemas construtivos inovadores submetidos ao SiNAT.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa com caráter descritivo-analítico, fundamentada no método de pesquisa documental. O objetivo central foi avaliar o potencial de desmonte e a viabilidade de circularidade de sistemas construtivos inovadores, utilizando os Documentos de Avaliação Técnica (DATec) como fonte de dados.

O processo de pesquisa foi estruturado em três etapas interdependentes (Figura 1): seleção da amostra e coleta de dados; instrumento de análise; e procedimentos de análise e articulação digital.

Além disso, foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial como apoio à extração de informações de artigos da literatura e à organização das referências bibliográficas. As informações extraídas com auxílio da ferramenta Gemini Notebook (Google) foram conferidas diretamente nos artigos originais, mediante comparação com os trechos correspondentes. O ChatGPT (OpenAI) foi utilizado para auxiliar na organização das referências. A análise dos DATecs foi realizada por meio da leitura dos documentos pelos autores.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Etapas da pesquisa



Fonte: Autores.

2.1. Seleção da amostra e coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio da análise dos DATecs, disponíveis no banco de dados da pesquisa Sistemas Construtivos Inovadores e seus Documentos de Avaliação Técnica, obtidos no portal oficial do PBQP-H. O banco de dados da pesquisa contém documentos que regulamentam sistemas construtivos para edificações. Foram analisados 14 documentos, todos específicos para sistemas construtivos de edificações, que abrangem tecnologias em aço, madeira e concreto (pré-moldados e moldados *in loco*). Esta seleção priorizou tecnologias construtivas industrializadas, pois elas tendem a proporcionar melhores condições de desmontagem, reaproveitamento de componentes, além de maior alinhamento aos conceitos de *Design for Disassembly* (*DfD*).

2.2. Instrumento de análise: *checklist* de circularidade e *DfD*

A avaliação técnica baseou-se na aplicação de uma *checklist* (Quadro 1) adaptada de Mattaraia, Martins e Fabricio (2016). Embora originalmente desenvolvida para avaliar o potencial de desmonte, a ferramenta foi reinterpretada neste estudo sob a perspectiva da Economia Circular, permitindo analisar aspectos físicos da desmontagem e elementos relacionados à reutilização, rastreabilidade e gestão das informações dos sistemas construtivos. A *checklist* foi organizada em categorias que avaliam não apenas a viabilidade física, mas também o suporte informacional necessário para a rastreabilidade:

a) Sistemas Construtivos: Foca em critérios de modularidade, pré-fabricação e o uso de conexões mecânicas desmontáveis (essenciais para o reuso de alto valor).
b) Materiais e Componentes: Avalia a padronização, toxicidade (ausência de contaminantes) e o ciclo de vida dos insumos.
c) Rastreabilidade e Informação: Analisa a disponibilidade de dados sobre composição e instruções de desmonte, critérios que servem como pré-requisitos para a elaboração de Passaportes de Materiais (PDM).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No Quadro 1, cada categoria reúne os itens a ela relacionados. Por sua vez, estes itens contêm um ou dois critérios, por meio dos quais os documentos foram analisados.

Quadro 1. *Checklist* para avaliação dos DATecs

Sistemas construtivos	Critérios referidos
Projeto para desmonte	C1 - Projetar de maneira que facilite o desmonte C13 - Prever a sequência do desmonte
Sistema construtivo modular	C9 - Utilizar sistemas modulares
O sistema evita elementos de grandes dimensões	C11 - Evitar elementos de grandes dimensões, considerando a escala humana
Elementos pré-fabricados	C10 - Utilizar elementos pré-fabricados
Estrutura resistente à montagem e à desmontagem	C21 - Utilizar conectores que resistam à montagem e à desmontagem C32 - Utilizar materiais duráveis e resistentes
Adoção de sistemas construtivos abertos	C7 - Adotar sistemas construtivos abertos
Evita junção de vários sistemas construtivos	C8 - Evitar misturar diferentes sistemas construtivos
Evita subsistemas embutidos	C15 - Evitar que sistemas elétricos e hidráulicos fiquem embutidos
É possível acessar todas as partes das edificações	C7 - Adotar sistemas construtivos abertos
É possível desmontar com ferramentas manuais	C4 - Evitar o excesso de ferramentas C19 - Facilitar a ligação dos elementos e montagens dos componentes
Foi considerado o transporte dos elementos e materiais desmontados	C11 - Evitar elementos de grandes dimensões, considerando a escala humana
É possível desmontar partes separadas do sistema construtivo sem danificar outras	C6 - Utilizar estruturas simples C13 - Prever a sequência do desmonte
A desmontagem dos subsistemas é independente	C14 - Considerar os diferentes subsistemas do edifício C20 - Propor ligações independentes
Foi considerado o tempo ideal de desmonte	C5 - Considerar a relação entre custo e tempo
Foi prevista a sequência do desmonte na documentação do sistema construtivo	C1 - Projetar de maneira que facilite o desmonte C13 - Prever a sequência do desmonte
Foi considerado o custo da desmontagem	C5 - Considerar a relação entre custo e tempo
Elementos a serem desmontados são compatíveis com a escala humana	C11 - Evitar elementos de grandes dimensões, considerando a escala humana
Todos os elementos do sistema construtivo apresentam baixa toxicidade	C28 - Evitar materiais tóxicos e danosos
Ausência de ligações químicas	C18 - Evitar ligações químicas, utilizando pregos, parafusos e conectores
Conectores resistentes	C21 - Utilizar conectores que resistam à montagem e desmontagem
Conectores padronizados	C22 - Padronizar os conectores
Ligações independentes	C20 - Propor ligações independentes
Reuso dos conectores	C24 - Prever possibilidades de reuso dos conectores
Número reduzido de diferentes tipos de conectores	C23 - Reduzir o número de conectores

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Conectores numerados segundo a ordem de desmontagem	C17 - Unir os materiais e elementos de maneira que facilite o processo de desmontagem C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas
Materiais e componentes	**Critérios referidos**
Materiais padronizados	C26 - Padronizar os materiais
Disponibilidade de inventários ACV dos materiais utilizados	C27 - Considerar os diferentes ciclos de vida
Ausência de materiais tóxicos ou danosos	C28 - Evitar materiais tóxicos e danosos
Evita materiais compostos	C31 - Considerar materiais que facilitem a desmontagem
Materiais leves	C30 - Considerar as dimensões e pesos dos materiais para facilitar o desmonte e o transporte
Materiais duráveis	C32 - Utilizar materiais duráveis e resistentes
Priorizou materiais que possam ser reutilizados	C29 - Incentivar a reutilização de materiais de outras construções
Os materiais utilizados poderão ser desmontados	C25 - Considerar a desmontagem dos materiais utilizados na edificação para aumentar as chances de reutilização
Ausência de Revestimentos e acabamentos químicos	C31 - Considerar materiais que facilitem a desmontagem
Rastreabilidade e Informação	**Critérios referidos**
Indicação de composição dos conectores	C33 - Especificar os materiais que possam ser identificados C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas
Identificação da composição de materiais e componentes	C33 - Especificar os materiais que possam ser identificados C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas
Projeto e documentos com dados atualizados	C35 - Atualizar as informações de projeto
Os pontos de desmonte estão identificados	C34 - Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas

Fonte: Adaptado de Mattaraia, Martins e Fabricio (2016).

2.3. Procedimentos de análise

A análise foi realizada por meio da leitura dos 14 DATecs e do exame das informações documentadas em relação aos itens e critérios da *checklist* apresentada no Quadro 1. Cada documento foi classificado quanto ao atendimento aos critérios, considerando as características construtivas descritas e a disponibilidade das informações em cada documento. A ausência de informação foi distinguida da existência de evidências de não atendimento ao critério.

O atendimento foi avaliado em quatro categorias:

i) atende: quando o critério é contemplado no documento;

ii) não atende: quando o documento apresenta informações que evidenciam o não atendimento ao critério avaliado;

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

iii) não se aplica: o critério é incompatível com a natureza técnica do sistema;

iv) não verificado: quando o documento não apresenta informações suficientes para determinar se o critério é atendido.

Esta análise também busca realizar um diagnóstico do *gap* informacional dos documentos, para identificar a ausência de dados de rastreabilidade que impede o funcionamento das edificações como Bancos de Materiais.

2.4. Avaliação da maturidade informacional para a circularidade digital

A análise do potencial de desmonte dos sistemas construtivos por meio dos DATecs pode ser um indicador da maturidade informacional desses sistemas em relação à economia circular e às tecnologias digitais. Os dados de potencial de desmonte poderão dar indícios do quanto os DATecs estão preparados para adotar e implementar as tecnologias digitais. Assim, sistemas com elevados índices de conformidade possuem a estrutura de dados necessária para a estruturação de um Passaporte Digital de Materiais (PDM). A checklist aplicada pode indicar a capacidade do DATec em alimentar um Gêmeo Digital (Digital Twin), para simular as sequências de desmonte. Diante dos dados, foi elaborada uma proposta para implantação do Passaporte Digital de Materiais nos DATecs para submissão durante a solicitação do DATec.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados 14 sistemas construtivos inovadores, todos destinados à habitação. Os sistemas abrangem tecnologias em concreto (10), madeira (2) e aço (2). As tecnologias em madeira são sistemas de base *wood frame* e em aço, um de *steel framing* e outro de chapas delgadas de aço galvalume.

Quadro 2. DATecs analisados

Nº	Identificação do produto
008-D	Sistema de vedação vertical com função estrutural constituído de painéis pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado – JET CASA
012-E	Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural – PRECON
014-C	Sistema construtivo a seco Saint-Gobain – Light Steel Frame
020-D	Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing)
021-C	CASAS OLÉ – Painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado
023-C	Painéis estruturais pré-moldados ITC - Casa Express, mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas – Tipo A
028-B	Sistema de vedação vertical constituído de painéis pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado – PREMIERE

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Nº	Identificação do produto
031-B	Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural
032-A	Painéis estruturais pré-moldados de concreto armado – ALTIARE
035-B	Paredes moldadas no local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro – CRFV
036-A	Painéis de vedação sem função estrutural pré-fabricados em concreto
038-A	Sistema construtivo modular “Casas Fischer” - painéis pré-fabricados de chapas delgadas vinculadas por núcleo de isolante térmico rígido
42	Sistema construtivo estruturado em peças de madeira maciça serrada com fechamentos em chapas (*light wood framing*) - MBTM
43	Painéis estruturais pré-moldados mistos de concreto armado e lajotas cerâmicas ITC - Casa Express

Fonte: Autores.

3.1. Sistemas construtivos

As Figuras 2 e 3 mostram os resultados da análise dos DATecs em relação aos aspectos dos sistemas construtivos. Dos critérios analisados nessa categoria, em apenas dois deles todos os DATecs atendem. Por outro lado, a maior parte dos documentos não pôde ser avaliada em relação aos itens devido à ausência de informações. O DATec 035-B atendeu a apenas dois itens da categoria analisada, enquanto os outros critérios, em sua maioria, não eram aplicáveis a este sistema.

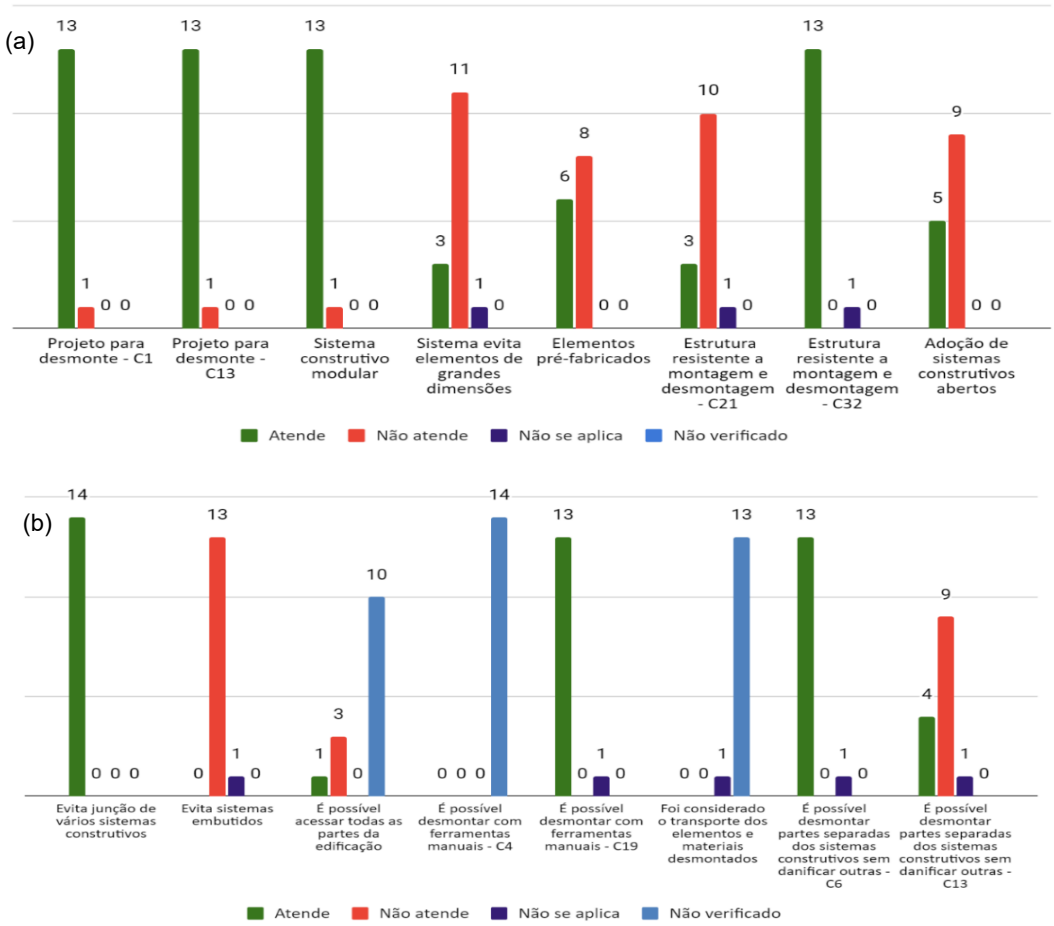
Os dados mostram que a maioria dos sistemas apresenta características potencialmente favoráveis ao desmonte (C1/C13) e são sistemas construtivos modulares, porém usam elementos de grandes dimensões. Na avaliação do item “estrutura resistente à montagem e à desmontagem” (C21), somente os sistemas em aço e um sistema em concreto atenderam. Nos sistemas em aço, as conexões entre os componentes são feitas, em sua maioria, por parafusos, facilitando a montagem e desmontagem e possibilitando a reutilização destes. Enquanto os painéis de concreto, em sua maioria, dependem de juntas úmidas ou soldadas que exigem cortes destrutivos, os sistemas de aço utilizam conexões mecânicas parafusadas, que permitem múltiplos ciclos de montagem sem perda de desempenho mecânico, atingindo, conforme Akanbi *et al.* (2018), até 93% de potencial de reuso real.

Para o item “Adoção de sistemas construtivos abertos”, cinco DATecs atenderam. Os sistemas construtivos abertos, como os de LSF e LWF, são construídos de modo a facilitar o acesso e modificação das estruturas, proporcionando facilidade na manutenção e contribuindo para a possibilidade de desmonte e reuso dos elementos da edificação. Os painéis de concreto são estruturas maciças e os sistemas elétrico e hidrossanitário são embutidos, sendo difícil o acesso para a manutenção ou recuperação desses materiais.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Assim, em relação à independência dos subsistemas, os painéis de concreto pré-moldado enfrentam desafios. A prática comum de embutir instalações elétricas e hidrossanitárias em estruturas maciças inviabiliza o desmonte seletivo, forçando o *downcycling* (reciclagem de baixo valor) em vez do reuso direto. Para esses casos, a integração dos Passaportes de Materiais com Gêmeos Digitais (*Digital Twins*) permitiria fornecer informações importantes sobre os sistemas (Trubina *et al.*, 2024). Essas informações podem orientar as decisões relacionadas à reciclabilidade e reutilização dos componentes (Paramatmuni; Cogswell, 2023) e podem contribuir para simular sequências de desmonte que preservem a integridade dos painéis, possibilitando que eles sejam reutilizados com as instalações integradas em novos projetos.

Figura 2. Atendimento da categoria sistemas construtivos



Fonte: Autores.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em relação ao item “Evita junção de vários sistemas construtivos” (Figura 2(b)), todos os documentos atendem. Esta conformidade indica uma adesão ao princípio da simplicidade de forma e estrutura, o qual facilita a padronização de componentes e a desconstrução em incrementos. Por outro lado, no que diz respeito ao item “Evita subsistemas embutidos”, treze sistemas (92,9%) não atendem. Como mencionado anteriormente, a maioria dos sistemas usa instalações embutidas; nos sistemas a seco, como LSF e LWF, a manutenção pode ser realizada facilmente, enquanto nos sistemas construtivos úmidos ela é mais difícil. No que tange ao item “É possível acessar todas as partes da edificação”, apenas um DATec (7,1%) atendeu ao critério, enquanto a maioria (dez, que representa 71,4%) foi classificada como não verificado devido à ausência de dados. Esse cenário expõe uma lacuna informacional que dificulta a elaboração de Passaportes de Materiais e, consequentemente, limita o potencial das edificações de operarem como Bancos de Materiais.

No que se refere à facilidade de manuseio durante o desmonte, a análise dos documentos mostra a discordância entre a teoria do *Design for Disassembly* (DfD) e as especificações técnicas dos sistemas industrializados analisados. O uso de componentes em escala humana e o emprego de ferramentas manuais, que constituem princípios-chave do *DfD*, são essenciais para reduzir a intensidade de trabalho, evitar a necessidade de equipamentos pesados e caros, e garantir a segurança dos operários (Guy; Ciarimboli; Hamer Center for Community Design, 2005). Neste aspecto, há ausência de dados em relação ao item “É possível desmontar com ferramentas manuais”, quando se considera o critério C4 - Evitar o excesso de ferramentas. Por outro lado, para o mesmo item, quando se considera o critério C19 - Facilitar a ligação dos elementos e montagens dos componentes, treze dos sistemas analisados (92,9%) atendem, ou seja, permitem, teoricamente, o desmonte com ferramentas manuais.

Apesar disso, a viabilidade física é comprometida pelas dimensões dos elementos. Verificou-se que onze sistemas são compostos por estruturas de grandes dimensões, o que torna necessário o uso de máquinas de elevação. Sistemas de concreto são desafiadores, sob o ponto de vista da economia circular, devido à sua natureza massiva e ao elevado peso dos painéis (Tavares *et al.*, 2025), o que dificulta o manuseio sem danos e impõe elevados custos logísticos para o transporte e a possível reutilização em novos canteiros.

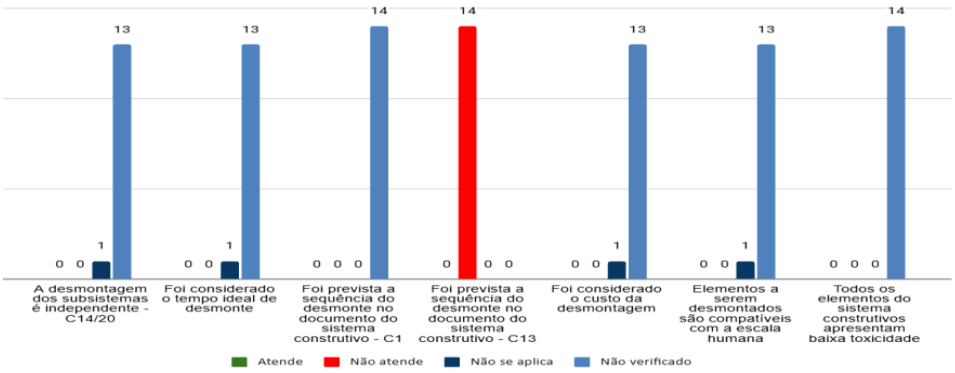
Quanto aos sistemas de *Light Wood Frame* (*LWF*) e *Light Steel Frame* (*LSF*), embora utilizem materiais leves e fáceis de manusear manualmente, a tendência de industrialização total dos painéis cria uma limitação. O envio de componentes pré-fabricados já integrados às instalações elétricas e hidrossanitárias e placas de vedação eleva o grau de pré-fabricação, mas aumenta o volume e o peso das unidades, dificultando o transporte das peças (Boafo; Kim; Kim,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

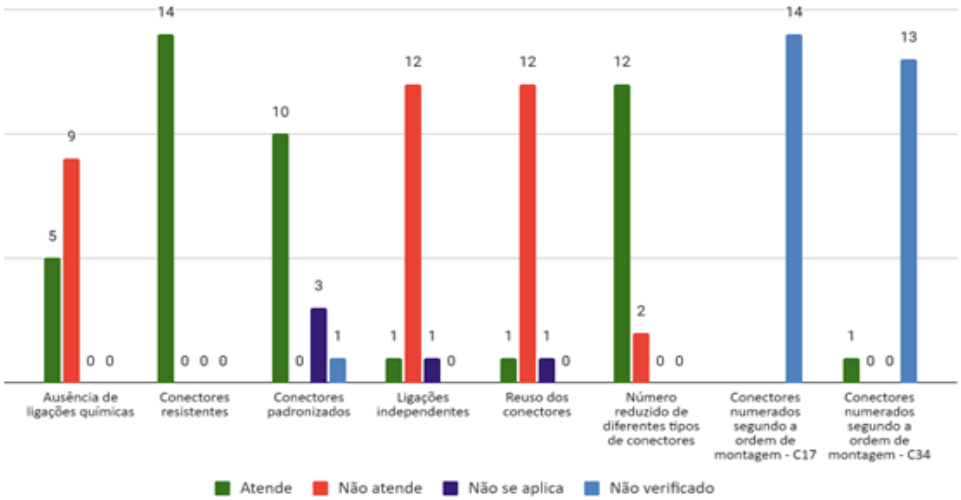
2016). Essa integração dos subsistemas, que forma também um emaranhamento de tubulações e fiação, atrapalha a desconstrução em escala humana (Guy; Ciarimboli; Hamer Center for Community Design, 2005), exigindo maquinário pesado para o transporte até o local definitivo (World Economic Forum, 2016) e para a desmontagem futura.

A análise dos resultados revela um *gap* informacional nos DATecs, conforme ilustra a Figura 3. Verifica-se que a maioria dos sistemas foi classificada como "não verificado" em itens importantes para a circularidade, como a independência na desmontagem de subsistemas, a estimativa do tempo ideal e os custos de desmonte. A ausência de dados sobre custos e tempo de desconstrução reflete uma barreira econômica, pois a incerteza sobre o valor residual dos componentes inibe investimentos em estratégias de reuso.

Figura 3. Continuação - Atendimento da categoria sistemas construtivos



Fonte: Autores.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No que concerne à saúde e segurança, a omissão de dados sobre a toxicidade dos materiais é preocupante. Sem a rastreabilidade química dos insumos, o reuso seguro torna-se inviável, forçando o setor a manter a lógica linear de descarte ou o *downcycling* de baixo valor. Além disso, a falta de compatibilidade de muitos sistemas com a escala humana e o manuseio manual exige o uso de maquinário pesado, o que aumenta os riscos de operação e a complexidade do desmonte.

Em relação ao item “Foi prevista a sequência do desmonte na documentação do sistema construtivo” (C13), nenhum DATec atendeu ao critério do item, reforçando a ausência de rastreabilidade dos sistemas analisados. No que diz respeito à ausência de ligações químicas, observou-se que apenas 5 dos 14 DATecs (35,7%) estão em conformidade, enquanto a maioria (9 documentos) prevê o uso de selantes, resinas e adesivos. Para Guy, Ciarimboli e Hamer Center for Community Design (2005), a redução ou eliminação de conexões químicas é um dos princípios fundamentais do *DfD*, pois ligantes e seladores dificultam a separação dos componentes, aumentam o risco de danos durante o desmonte e podem causar danos à saúde humana. O uso elevado desses materiais nos sistemas dos DATecs analisados sugere um obstáculo à circularidade, uma vez que substâncias adesivas podem contaminar frações recicláveis.

No que diz respeito à utilização de conectores resistentes, todos os DATecs demonstraram conformidade, utilizando elementos como chumbadores, parafusos e juntas soldadas para garantir estabilidade e durabilidade estrutural. No entanto, quando se consideram os princípios da EC, o uso de conectores resistentes não garante que esses conectores sejam desmontáveis, assim, não se garante a sustentabilidade. Em relação aos sistemas de concreto, geralmente são utilizadas juntas soldadas ou úmidas que exigem cortes destrutivos. Por outro lado, o uso de conexões mecânicas parafusadas, como as empregadas nos sistemas de *Steel Frame,* permite que os componentes sejam recuperados em condições primárias para reuso direto. No que diz respeito à padronização dos conectores, 10 DATecs atendem e fornecem especificações claras. Apesar disso, Isaac, Bock e Stoliar (2016) afirmam que o uso de conjuntos personalizados e não repetitivos de componentes com interfaces padronizadas pode permitir o encaixe preciso e a intercambialidade, sem restringir o projeto a unidades repetitivas. Essa padronização precisa de suporte digital, o que poderia ser alcançado pela adoção de identificadores por meio de códigos QR ou Identificação por Radiofrequência (*RFID*) vinculados ao modelo BIM de cada conector padronizado.

Quanto à análise de ligações independentes, apenas um sistema atende a esse critério. A dependência entre as conexões impossibilita o desmonte, pois a substituição ou remoção de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

um componente com uma função pode colocar em risco a estabilidade de outros componentes que têm outras funções. No tocante ao reuso de conectores, a análise mostra que os sistemas construtivos analisados priorizam a montagem única em vez do reuso. Apenas um dos 14 DATecs atende ao critério de reuso de conectores, ou seja, a retirada sem comprometer a estrutura do sistema. Na maioria dos sistemas, 12 DATecs, as ligações são juntas úmidas ou soldadas, o que inviabiliza a remoção dos conectores sem danos permanentes aos componentes próximos. Quando se considera a Economia Circular e o Design for Disassembly (DfD), o uso de conexões mecânicas e secas, como parafusos, conexões de encaixe e conexões magnéticas (Crowther, 2005), permite que as peças sejam desmontadas e removidas sem causar danos aos elementos ou peças conectados.

Em relação à quantidade de tipos de conectores, observa-se que 12 dos sistemas analisados utilizam um número reduzido de fixadores padronizados. Isso favorece a padronização de interfaces, pois simplifica a manutenção e reduz a necessidade de uso pelos trabalhadores de ferramentas complexas para montagem e desmonte, o que pode tornar o processo de desconstrução mais rápido e com menor possibilidade de ocorrer erros. No que se refere à numeração dos conectores segundo a ordem de desmontagem, observou-se que para o critério C17, todos os DATecs foram classificados como "não verificado" e para o critério C34, apenas um documento fornece numeração para os conectores, enquanto os outros 13 (92,9%) omitem qualquer sistema de identificação.

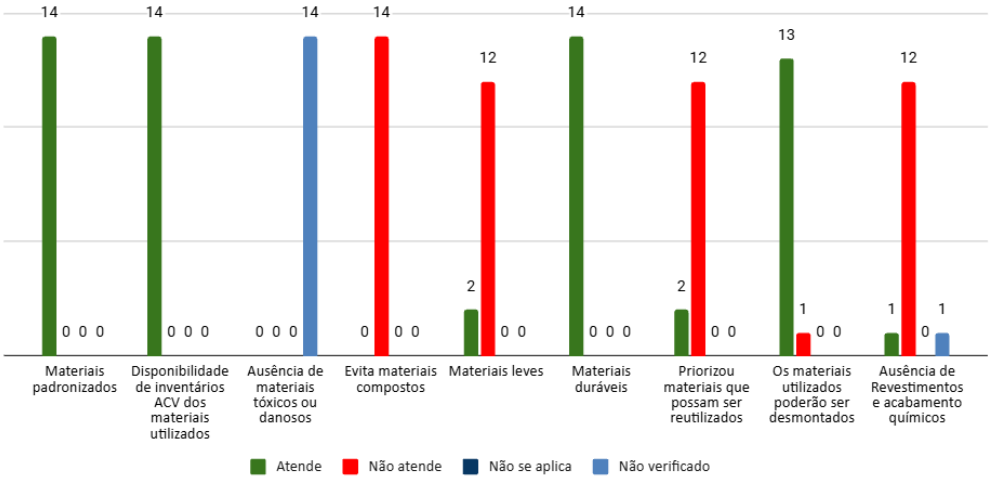
Apesar de a maioria dos sistemas analisados seguir uma lógica linear, ainda se observam alguns sistemas que, com algumas mudanças, atenderiam aos princípios da economia circular. Diante disso, verifica-se que há um *gap* informacional, que pode ser superado com a integração dos sistemas para um modelo BIM e Passaportes de Materiais (PDM). Além disso, um modelo BIM, funcionando como um Gêmeo Digital (Digital Twin), permitiria catalogar cada conector via etiquetas RFID ou códigos QR e simular virtualmente a sequência de desmonte. Essas etiquetas poderiam ser usadas para comunicar informações dos materiais, componentes ou conjunto, semelhante ao código numérico impresso em produtos de supermercado, por exemplo. Esse elemento poderia ser escaneado e, assim, possibilitar acesso a todas as suas informações, como materiais, conexões, processo de montagem e instruções de desmonte. O Gêmeo Digital (Digital Twin), integrado ao BIM, atua como um núcleo central que consolida dados geométricos, materiais e temporais do ativo (Boje *et al.*, 2020), podendo reduzir os custos de demolição e melhorar a taxa de recuperação dos materiais (Boje *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2026), proporcionando um ambiente virtual para planejamento e simulação.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.2. Materiais e Componentes

A avaliação dos materiais e componentes (Figura 4) nos DATecs é importante para a transição para um modelo de Bancos de Materiais (Material Banks). Em três itens, os sistemas construtivos apresentaram total atendimento para todos os 14 documentos analisados, que foram: C26 (Padronizar os materiais), C27 (Considerar os diferentes ciclos de vida) e C32 (Utilizar materiais duráveis e resistentes). Embora essa conformidade seja positiva, quando se analisam os outros itens/critérios observa-se menor quantidade de atendimento dos DATecs.

Figura 4. Atendimento de Materiais e componentes



Fonte: Autores.

No que diz respeito ao uso de materiais leves (C30), observou-se que doze sistemas analisados (85,7%) utilizam componentes massivos e pesados, baseados principalmente em concreto armado. O elevado peso próprio desses elementos pode dificultar o manuseio manual e exige maquinário pesado para elevação dos componentes, o que encarece a desconstrução.

Em relação ao critério de considerar a desmontagem dos materiais utilizados, 13 sistemas apresentaram conformidade devido ao potencial de desmontagem física das peças industrializadas de madeira e aço. Por outro lado, quanto ao item “Priorizou materiais que possam ser reutilizados” (C29), verifica-se que apenas 2 documentos atendem ao critério. Isso é resultado de um mercado que foca principalmente no uso do concreto armado e da ausência de um direcionamento do sistema para a Economia Circular.

Na parte de materiais e componentes, o resultado mais preocupante refere-se ao item "Ausência de materiais tóxicos ou danosos" (C28), em que todos os DATecs foram classificados como "não verificado" devido à omissão de dados nos documentos oficiais. Essa ausência de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dados revela uma lacuna informacional nos sistemas construtivos inovadores. Torres-Polo e Guzmán Ortíz (2026) chamam esse *gap* informacional, ou seja, essa ausência de informações, de assimetria de informação. Na Economia Circular, a ausência de informações sobre a composição química dos materiais, como tratamento químico na madeira, inviabiliza o reuso seguro (Charef; Emmitt, 2021) e impede que os materiais sejam reutilizados, pois podem gerar riscos à saúde dos trabalhadores durante o desmonte.

No que diz respeito aos tipos de materiais, a literatura indica que estruturas de concreto armado não são adequadas para desmontagem, pois são difíceis de desmontar sem danos (Tingley, 2012), o que pode resultar no *downcycling* (Tavares *et al.*, 2025). Isso torna a reutilização de estruturas de concreto geralmente difícil e inflexível (Tingley; Davison, 2011), mas facilmente reciclável. No entanto, embora o concreto possa ser reciclado mecanicamente, o processo consome muita energia e resulta em agregados de menor valor comercial (Tavares *et al.*, 2025). A transição circular do concreto exige a substituição de demolições por desconstruções planejadas e o desenvolvimento de componentes menores e modulares (Hossain *et al.*, 2020). Por outro lado, estruturas metálicas de aço apresentam maior potencial de circularidade, e, portanto, de reuso. O aço pode ser reciclado diversas vezes sem perda da qualidade. Em relação à madeira (Wood Framing), esta apresenta uma taxa de recuperação estimada em 65% para reuso direto e 35% para reciclagem ou recuperação energética, desde que preservada a integridade das peças de madeira serrada contra patologias e intempéries (Akanbi *et al.*, 2018). Além disso, a madeira é um material leve e destaca-se pela facilidade de manuseio no canteiro de obras.

A integração entre BIM, Gêmeos Digitais e Passaportes de Materiais (PDM) surge como uma possível solução. Ao armazenar metadados padronizados sobre a composição, toxicidade, localização espacial e histórico de manutenção de cada conector e componente diretamente no modelo (Trubina *et al.*, 2024), pode-se ampliar a rastreabilidade para simulações de desmonte e para transação de materiais recuperados de forma segura.

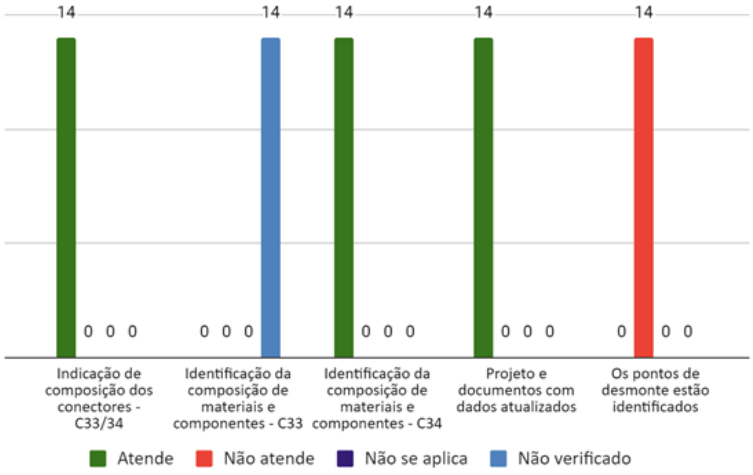
3.3. Rastreabilidade e Informação

A rastreabilidade e a disponibilidade de dados sobre os sistemas são essenciais para a tomada de decisão no fim do ciclo de vida das edificações, pois na economia circular o suporte informacional é tão importante quanto a viabilidade de desmontagem. Nesse sentido, os DATecs foram analisados quanto à informação e identificação dos materiais utilizados nos sistemas construtivos, com os resultados apresentados na Figura 5.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em relação ao item "Indicação da Composição dos Conectores", todos os DATecs analisados apresentam conformidade. Isso se deve ao fato de que as instruções de montagem descritas nos documentos analisados fornecem descrições geométricas e de fixação que viabilizam uma identificação satisfatória em canteiro. Apesar disso, segundo Heinrich e Lang (2019), esse formato de identificação textual limita o fluxo rápido de informações entre fabricantes, projetistas e desmontadores, necessitando de uma identificação automatizada em formato digital.

Figura 5. Atendimento dos sistemas construtivos em relação à rastreabilidade e informação.



Fonte: Autores.

No que diz respeito ao item "Identificação da Composição de Materiais e Componentes", em relação ao critério C33, todos os documentos foram classificados como não verificados, ou seja, há ausência de informações no documento oficial sobre composição química e física dos materiais e componentes. Por outro lado, todos os sistemas construtivos analisados atenderam, nesse item, ao critério C34 por apresentarem de forma clara a sequência de montagem física de cada elemento do sistema.

A literatura mostra que a falta de informações sobre a composição e a especificação dos materiais e componentes é uma das barreiras para a reciclagem segura e para reuso dos elementos (Rose; Stegemann, 2019; Charef; Emmitt, 2021). No cenário brasileiro, Munaro *et al.* (2019) mostraram que isso é agravado pela ausência de obrigatoriedade de Declarações Ambientais de Produto (EPDs). Assim, dados importantes, como toxicidade e potencial de degradação ambiental ficam indisponíveis ou são omitidos pelos fabricantes.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quanto ao item "Projeto e Documentos com Dados Atualizados", avaliado conforme o critério C35, todos os DATecs atendem. Isso se deve à exigência da regulação nacional de revisão periódica dos documentos a cada dois anos para manter sua vigência. No entanto, essa atualização parece ser insuficiente para incorporar as alterações, reformas e manutenções ocorridas durante o ciclo de vida de uma edificação, pois há perda de dados ao longo das fases de uso. Isso inviabiliza o *Design for Disassembly* (*DfD*). Sobre isso, Heinrich e Lang (2019) consideram que as informações e o estado dos componentes precisam estar documentados, além disso, as alterações devem alimentar um banco de dados para garantir que o gêmeo digital corresponda sempre ao estado atual da edificação.

Para isso, é necessário que ocorra uma transição dos registros dos sistemas construtivos para formatos de Passaportes de Materiais que possam ser sincronizados a Gêmeos Digitais (Digital Twins) alimentados por sensores usando Internet das Coisas (*IoT*) e rastreamento contínuo. Para Kaewunruen, Lin e Guo (2025), a integração BIM - Gêmeos Digitais possibilita: a atualização contínua do modelo por meio de dados *IoT* integrados, a geração automatizada de instruções de transmissão via módulos lógicos incorporados e a coordenação em ciclo fechado entre os estados físico e digital do projeto.

Essa transição dos sistemas construtivos se mostra fundamental, quando se analisa o item "Os pontos de desmonte estão identificados" (C34), no qual nenhum dos DATecs avaliados atende. Observou-se que os documentos focam no sequenciamento da construção e fabricação dos componentes, deixando de informar completamente a identificação de pontos e sequência de desmonte. A ausência do planejamento para o desmonte e para o fim da vida útil impede o desmonte ou descarte seguro. Assim, sem plano de desconstrução integrado a um modelo digital, as tentativas de desmonte podem resultar em danos aos elementos (Giorgi; Lavagna, 2024).

3.4. Proposta para implantação do Passaporte Digital de Materiais nos Documentos de Avaliação Técnica (DATec)

No cenário brasileiro, para que ocorra a transição digital, propõe-se um modelo de incorporação do Passaporte Digital de Materiais aos DATecs submetidos ao SiNAT. O modelo prevê uma integração entre BIM e Gêmeos Digitais e a criação do Passaporte Digital de Materiais de forma a aproveitar o uso das tecnologias digitais como códigos QR e Inteligência Artificial (IA). O Quadro 3 apresenta os módulos sugeridos. Trata-se de uma proposta conceitual derivada da análise documental, cuja viabilidade técnica, econômica e regulatória ainda necessita de avaliação. Nesse modelo, a emissão e a renovação dos documentos estariam vinculadas à

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

apresentação de informações sobre rastreabilidade, composição dos materiais e procedimentos de desmonte.

Quadro 3. Proposta de inclusão do Passaporte Digital de Materiais

Módulo	Requisitos mínimos do modelo proposto
Rastreabilidade e Identificação Digital	1. Código único atribuído ao componente. 2. Etiqueta física por meio de códigos QR ou Identificação por Radiofrequência (RFID). 3. Identificação do Fabricante e Responsabilidade por meio de registro do titular do DATec e programa de logística reversa.
Composição Química, Toxicidade e Saúde (Critérios C28 e C33)	1. Declaração de substâncias e insumos constituintes com especificação em concentração. 2. Declaração de ausência de substâncias perigosas, elementos tóxicos ou aditivos que contaminem o fluxo de reciclagem/reuso. 3. Identificação de selantes, resinas e revestimentos adesivos aplicados nas juntas que limitem a separação mecânica limpa dos materiais.
Reversibilidade, Conexões e Manual de desmonte (Critérios C13, C17 e C34)	1. Classificação da ligação: Identificação do tipo de ligação se seco/mecânico (parafusos, conexões de encaixe) ou químico/úmido (soldas, argamassas, selantes). 2. Mapa dos pontos de desconexão: Mapeamento geométrico dos pontos de desconexão e ancoragem segura no modelo digital. 3. Manual de desconstrução: Especificar o passo a passo da sequência de montagem e desmonte (Critério C13/C17), especificação de ferramentas necessárias (se manual ou maquinário pesado) e raio de manobra para içamento caso necessário.
Desempenho de Ciclo de Vida e Circularidade (Critérios C25 e C27)	1. Histórico de Uso e Manutenção: Registro de reparos, substituições ou incidentes (como exposição ao fogo) ocorridos durante a fase de operação. 2. Percentual de destino final previsto: Classificação percentual estimada das frações do sistema destinadas ao reuso direto, reciclagem mecânica ou destinação final conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002. 3. Potencial de aquecimento global incorporado (GWP): Métricas de pegada de carbono incorporado em kg CO_2 eq. obtidas por meio de Declarações Ambientais de Produto (EPD) ou bases de dados nacionais de Análise do Ciclo de Vida. 4. Expectativa de Vida Útil de Projeto (VUP): Estimativa de durabilidade dos elementos e recomendação de períodos de manutenção preventiva.

Fonte: Autores.

Diante do cenário observado na pesquisa, em que, por exemplo, 100% dos documentos não apresentam indicação de pontos e sequências de desmonte, 100% não apresentam informações suficientes para verificação da composição química detalhada e omitiram dados sobre toxicidade de materiais e insumos, verifica-se que há um *gap* informacional. Com base nas lacunas identificadas, propõe-se a incorporação de requisitos de rastreabilidade, desmonte e composição dos materiais aos processos de emissão e renovação dos DATecs, organizados na forma de um Passaporte Digital de Materiais.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

No modelo apresentado no Quadro 3, esses requisitos constituiriam um conjunto mínimo de informações a ser apresentado e atualizado pelos responsáveis pelos sistemas construtivos. Recomenda-se avaliar a possibilidade de sua incorporação aos procedimentos do SiNAT, no âmbito do PBQP-H, considerando a compatibilidade com os processos de avaliação técnica, os custos de implementação e a responsabilidade pela manutenção dos dados.

Honic, Magalhães e Van den Bosch (2024) afirmam que modelos de dados proporcionam que as partes interessadas em projetos de construção troquem informações sobre os objetos de construção ao longo do ciclo de vida, usando a mesma estrutura de dados, terminologias e identificadores únicos para legibilidade por máquina. Adicionalmente, é importante verificar os princípios do projeto *Buildings as Material Banks* – BAMB (Heinrich; Lang, 2019) e o Regulamento (UE) 2024/1781 (ESPR), que trata do Ecodesign para Produtos Sustentáveis e inclui a criação de Passaportes Digitais de Produto (PDPs). De acordo com Markou, Sinnott e Thomas (2025), os PDPs são um requisito e destinam-se a armazenar, processar e compartilhar eletronicamente informações relacionadas ao produto com autoridades, empresas e consumidores.

No modelo proposto, a empresa detentora da tecnologia apresentaria, no processo de emissão ou renovação do DATec, um modelo BIM com informações dos componentes organizadas em conjuntos de propriedades associados ao Passaporte Digital de Materiais. A inclusão dos módulos sugeridos pode contribuir para reduzir o volume de resíduos de construção e demolição, transformar as habitações em estoques catalogados (Banco de Materiais) e apoiar a identificação e a gestão dos riscos de contaminação por substâncias nocivas no desmonte. Além disso, o Passaporte Digital de Materiais e seus benefícios podem estimular a criação de plataformas de *e-commerce* e/ou *marketplaces* de materiais secundários para construção no Brasil.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o potencial de desmonte de sistemas construtivos inovadores regulamentados por Documentos de Avaliação Técnica (DATec) no âmbito do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SiNAT/PBQP-H). A análise dos documentos observou os princípios do *Design for Disassembly* (*DfD*) e da Economia Circular (EC), investigando três eixos centrais: sistemas construtivos, materiais e componentes, e rastreabilidade e suporte informacional. Assim, destacam-se as seguintes conclusões:

a) Os DATecs analisados não apresentam um plano completo de desconstrução. Apesar disso, alguns sistemas possuem características que podem favorecer o desmonte, como

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

industrialização, modularidade e uso de conexões mecânicas. Essas condições variam entre os sistemas, que também apresentam limitações quanto às dimensões dos componentes, aos tipos de ligação e à disponibilidade de informações. Assim, os dados analisados permitem identificar possibilidades e dificuldades para o desmonte, mas não são suficientes para afirmar que todos os sistemas apresentam elevado potencial de desconstrução ou que o desmonte seja viável na prática.

b) Os sistemas construtivos leves, como Light Steel Framing (LSF) e Light Wood Framing (LWF) destacam-se pelo uso de conexões mecânicas parafusadas, que viabilizam a recuperação dos componentes sem danos para reuso direto em novos ciclos produtivos. Por outro lado, os sistemas em concreto utilizam juntas soldadas ou úmidas, que exigem cortes destrutivos, o que acarreta o *downcycling*.

c) Há uma barreira à rastreabilidade informacional, pois se observou omissão de dados sobre toxicidade (Critério C28) e a ausência total de identificação de pontos e sequências de desmonte em 100% da amostra (Critérios C13 e C34).

d) É preciso que os sistemas construtivos evoluam para uma "Transição Gêmea", ou seja, é necessária uma integração entre Passaportes Digitais de Materiais, modelagem BIM e Gêmeos Digitais (Digital Twins). A parametrização digital de metadados, como etiquetas físicas por meio de códigos QR ou Identificação por Radiofrequência e manuais digitais de desconstrução, poderá transformar os arquivos em bases de dados dinâmicas, viabilizando simulações virtuais de desmonte e melhorando a rastreabilidade.

Observa-se a existência de diversas barreiras à aplicação da ferramenta de Passaporte Digital de Materiais na construção civil, o que demanda uma visão sistêmica das cadeias de valor e dos fluxos, bem como uma maior colaboração entre as partes interessadas e o apoio governamental por meio de legislação e incentivos fiscais, fatores essenciais para a transição para uma economia circular.

REFERÊNCIAS

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2025. Brasil: ABREMA, 2025. Disponível em: https://abrema.org.br/.

AKANBI, L. A. *et al.* Salvaging building materials in a circular economy: a BIM-based whole-life performance estimator. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 175–186, 2018.

ALI, Zain Anwar *et al.* Multiple knowledge depiction of digital twin-driven circular economy: concepts, integrated advanced technologies, triple bottom line of smart construction, and

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

exploratory case studies. **Journal of Engineering Research**, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jer.2025.08.018.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. D. C. D.; TAVARES, S. F. Circular economy in the construction industry: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121046, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046.

BOAFO, Fred Edmond; KIM, Jin-Hee; KIM, Jun-Tae. Performance of modular prefabricated architecture: case study-based review and future pathways. **Sustainability**, v. 8, n. 6, p. 558, 2016.

BOJE, Calin *et al.* Towards a semantic Construction Digital Twin: directions for future research. **Automation in Construction**, v. 114, p. 103179, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179.

CHAREF, Rabia; EMMITT, Stephen. Uses of building information modelling for overcoming barriers to a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 124854, 2021.

CROWTHER, P. Design for disassembly: themes and principles. **Environmental Design Guide**, Australia, 2005.

GELDERMANS, R. J. Design for change and circularity: accommodating circular material and product flows in construction. **Energy Procedia**, v. 96, p. 301–311, 2016.

GIORGI, Serena; LAVAGNA, Monica. Italian regulations and local initiatives for circular economy in the construction sector. In: UNGUREANU, V. *et al.* (ed.). **4th International Conference Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience & Midterm Conference of CircularB: Implementation of Circular Economy in the Built Environment**. Springer Nature, 2024. p. 381–391. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7.

GÜNGÖR, Bengü *et al.* Development of circularity assessment indices for construction sector: a critical review. In: UNGUREANU, V. *et al.* (ed.). **4th International Conference Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience & Midterm Conference of CircularB: Implementation of Circular Economy in the Built Environment**. Springer Nature, 2024. p. 381–391. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7.

GUY, Bradley; CIARIMBOLI, Nicholas; HAMER CENTER FOR COMMUNITY DESIGN. **DfD: design for disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building**. State College: Hamer Center for Community Design, 2005. Disponível em: https://www.lifecyclebuilding.org/docs/DfDseattle.pdf.

HEINRICH, Matthias; LANG, Werner. **Materials Passports – Best Practice: innovative solutions for a transition to a circular economy in the built environment**. München: Technische Universität München, 2019.

HONIC, Meliha; MAGALHÃES, Pedro Meda; VAN DEN BOSCH, Pablo. From data templates to material passports and digital product passports. In: DE WOLF, Catherine; ÇETIN, Sümeyye; BOCKEN, Nancy M. P. (org.). **A circular built environment in the digital age**. Cham: Springer, 2024. (Circular Economy and Sustainability).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

HOPKINSON, P. *et al.* Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. **Engineering Sustainability**, v. 172, n. 3, p. 119–128, 2019. DOI: https://doi.org/10.1680/jensu.18.00007.

HOSSAIN, Md Uzzal *et al.* Circular economy and the construction industry: existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p. 109948, 2020.

ISAAC, Shabtai; BOCK, Thomas; STOLIAR, Yaniv. A methodology for the optimal modularization of building design. **Automation in Construction**, v. 65, p. 116–124, 2016.

KAEWUNRUEN, Sakdirat; LIN, Yi-Hsuan; GUO, Yuxin. BIM-driven digital twin for demolition waste management of existing residential buildings. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 28989, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-13938-9.

KEMPTON, L.; BOEHME, T.; AMIRGHASEMI, M. A material stock and flow analysis for Australian detached residential houses. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 200, p. 107289, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107289.

KOVACIC, I.; HONIC, M.; SRECKOVIC, M. Digital platform for circular economy in AEC industry. **Engineering Project Organization Journal**, v. 9, p. 1–16, 2020. DOI: https://doi.org/10.25219/epoj.2020.00107.

MARKOU, Ioannis; SINNOTT, Derek; THOMAS, Ken. Current methodologies of creating material passports: a systematic literature review. **Case Studies in Construction Materials**, v. 22, p. e04267, 2025.

MATTARAIA, Letícia; MARTINS, Andreia; FABRICIO, Márcio Minto. Critérios para avaliação do potencial de desmonte e reciclagem de materiais de sistemas construtivos inovadores. In: KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; FABRICIO, Márcio Minto. **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade**. São Carlos: Scienza, 2016. cap. 11, p. 315–338.

MHATRE, P.; GEDAM, V. V.; UNNIKRISHNAN, S. Material circularity potential for construction materials – the case of transportation infrastructure in India. **Resources Policy**, v. 74, art. 102446, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102446.

MORGANTI, L. *et al.* Integrated platform-based tool to improve life cycle management. **Buildings**, v. 13, n. 10, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13102630.

MUNARO, M. R. *et al.* Proposal of a building material passport and its application feasibility to the wood frame constructive system in Brazil. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012018. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012018.

NARCISO, Maria Adalberta *et al.* Potencial de desmonte em sistemas construtivos inovadores no Brasil: uma análise dos DATecs sob a perspectiva da economia circular. **RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar**, v. 7, n. 6, p. e768141, 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

PARAMATMUNI, Chaitanya; COGSWELL, Daniel. Extending the capability of component digital threads using material passports. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 87, p. 245–259, 2023.

PETROVIĆ, Jana; PAVLOVIĆ, Jelena; RADIVOJEVIĆ, Ana. Possibilities for implementing principles of a circular economy in the reconstruction and adaptation of buildings in Serbia. **Spatium**, p. 40–48, 2022. DOI: https://doi.org/10.2298/SPAT220301013P.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 710–718, 2017.

RIOS, Fernanda Cruz; CHONG, Wai K.; GRAU, David. Design for disassembly and deconstruction: challenges and opportunities. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 1296–1304, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485.

ROSE, C. M.; STEGEMANN, J. A. Characterising buildings as material banks. **Engineering Sustainability**, v. 172, n. 3, p. 129–140, 2019. DOI: https://doi.org/10.1680/jensu.17.00074.

SANTANA, S.; RIBEIRO, A. Traceability models and traceability systems to accelerate the transition to a Circular Economy: a systematic review. **Sustainability**, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su14095469.

SHOJAEI, A. *et al.* Enabling a circular economy in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126352, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126352.

TAVARES, Vanessa *et al.* Modularity and prefabrication. In: BRAGANÇA, Luís *et al.* **Circular Economy Design and Management in the Built Environment: a critical review of the state of the art**. Springer, 2025. p. 215–256. (Springer Tracts in Civil Engineering). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-73490-8_8.

TINGLEY, Danielle Densley; DAVISON, Buick. Design for deconstruction and material reuse. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy**, v. 164, n. 4, p. 195–204, 2011.

TINGLEY, D. D. **Design for deconstruction: an appraisal**. 2012. Tese (Doutorado) – University of Sheffield, Sheffield, 2012.

TORRES-POLO, Marta; GUZMÁN ORTÍZ, Eduardo. Computational economics of circular construction: machine learning and digital twins for optimizing demolition waste recovery and business value. **Computation**, v. 14, n. 4, p. 76, 2026.

TRUBINA, Nika *et al.* Digital technologies and material passports for circularity in buildings: an in-depth analysis of current practices and emerging trends. In: UNGUREANU, V. *et al.* (ed.). **4th International Conference Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience & Midterm Conference of CircularB: Implementation of Circular Economy in the Built Environment**. Springer Nature, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2024: summary of results**. New York: United Nations, 2024. (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

WEBSTER, Mark D. Structural design for adaptability and deconstruction: a strategy for closing the materials loop and increasing building value. In: **New horizons and better practices**. 2007. p. 1–6.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the future of construction: a breakthrough in mindset and technology**. 2016. p. 11–16. Disponível em: https://www.weforum.org/publications/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.