XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8691

Passaporte de materiais: análise das tecnologias de armazenamento para o reuso na construção civil

Material Passports: Analysis of Storage Technologies for Reuse in the Construction Industry

Mayara Regina Munaro
UTFPR | Curitiba-PR | Brasil | mayaramunaro@utfpr.edu.br

Resumo

A reutilização de materiais é uma estratégia crucial para enfrentar a emergência climática e alcançar as metas de descarbonização na indústria da construção. Entretanto, é uma prática limitada devido à falta de informações sobre as especificações e o desempenho dos materiais utilizados ou reutilizados. Os Passaportes de Materiais (PMs) visam solucionar este problema ao documentar a identidade, as especificações e o desempenho dos materiais ao longo de seu ciclo de vida. No entanto, não são implementados devido à sua complexidade, à falta de um enquadramento e de ferramentas digitais que permitam a sua produção, armazenamento e atualização. Utilizando uma abordagem de pesquisa descritiva, este estudo visa mapear as tecnologias de armazenamento disponíveis para a gestão de PMs. Com base nas características das tecnologias avaliadas, sugere-se que o PM seja incorporado à modelagem da informação da construção, com níveis diferenciados de dados e com identidade certificada por produto. Uma política pública que favoreça a sua vinculação à documentação de registro de imóveis pode ser uma alternativa para a sua efetiva implementação e para o desenvolvimento de um repositório nacional de materiais secundários.

Palavras-chave: Economia circular. Desconstrução. Reuso. Reciclagem. BIM.

Abstract

Material reuse is a crucial strategy for addressing the climate emergency and achieving decarbonization targets in the construction industry. However, its adoption remains limited due to a lack of information on the specifications and performance of the materials used or reused. Material Passports (MPs) aim to address this issue by documenting the identity, specifications, and performance of materials throughout their life cycle. Nevertheless, their implementation is still constrained by complexity and by the lack of a structured framework and digital tools to support their creation, storage, and updating. Using a descriptive research approach, this study aims to map the storage technologies available for managing MPs. Based on the characteristics of the analyzed technologies, it is suggested that MPs should be integrated into Building Information Modeling (BIM), with differentiated levels of data and product-certified identity. Furthermore, a public policy linking MPs to property registration documentation may be a viable pathway to their effective implementation and the development of a national repository of secondary materials.

Keywords: Circular economy. Deconstruction. Reuse. Recycling. BIM.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8691

INTRODUÇÃO

A indústria da construção enfrenta o desafio crítico da emergência climática, o que torna a descarbonização e a transição para práticas sustentáveis prioridades absolutas. Nesse contexto, a Economia Circular (EC) surge como uma estratégia essencial para o ambiente construído, visando dissociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos por meio de ciclos fechados de materiais [1]. A implementação da EC na construção baseia-se em conceitos-chave como a reutilização, a reciclagem e o *design* para a desmontagem, permitindo que componentes e materiais mantenham seu valor e utilidade por mais tempo [2, 3]. No entanto, a aplicação prática dessas estratégias é limitada pela falta de informações confiáveis sobre a composição, o histórico e o desempenho dos materiais já incorporados aos edifícios [2, 4].

O desenvolvimento de ferramentas digitais e de bases de dados representa uma oportunidade significativa para aprimorar as Avaliações do Ciclo de Vida (ACV) e estabelecer referências setoriais. No entanto, para possibilitar a comparabilidade entre ACVs, são necessárias metodologias transparentes e consistentes [5]. Para preencher essa lacuna, o conceito de Passaporte de Materiais (PM) tem ganhado destaque como um habilitador fundamental para a circularidade [6, 7]. Definido como um documento digital de dados, o PM reúne informações detalhadas sobre a identidade do material, seu histórico de uso e seu desempenho técnico ao longo de todo o ciclo de vida [2, 8]. Ao atuar como um "hub" de dados, o passaporte oferece benefícios significativos, como a rastreabilidade total ao longo da cadeia de suprimentos, o incentivo ao reuso em vez da demolição e a consequente redução da pegada de carbono incorporada às edificações [8].

A implementação dos PMs contribui para a redução dos resíduos de construção ao facilitar a reciclagem e a reutilização eficazes de materiais [9]. Além disso, ao garantir o uso adequado de materiais reciclados, o PM contribui para reduzir a pegada de carbono associada à produção de novos materiais. A ferramenta também melhora a eficiência no uso de recursos, permitindo utilização mais precisa dos materiais com base em dados confiáveis sobre suas propriedades e adequação [10]. O efeito combinado desses fatores representa um avanço rumo a práticas construtivas mais sustentáveis, alinhando-se aos esforços globais de mitigação dos impactos ambientais e de promoção da sustentabilidade na cadeia de suprimentos da construção civil [11].

Apesar do seu potencial, há uma lacuna significativa de estudos empíricos sobre sua aplicação prática na indústria da construção [11] e a implementação em larga escala dos PMs enfrenta barreiras significativas. Entre os principais obstáculos, destacam-se a solução de armazenamento, devido à complexidade e ao volume de dados a serem geridos; a falta de padronização de protocolos e formatos de informação; a fragmentação da cadeia de suprimentos; e a ausência de incentivos econômicos ou regulatórios claros para que as empresas compartilhem dados sensíveis.

Neste cenário, as tecnologias digitais emergem como ferramentas capazes de viabilizar a produção, o armazenamento e a atualização contínua desses passaportes. As tecnologias digitais são vistas como soluções promissoras para mitigar a complexidade da EC no ambiente construído. Essas ferramentas atuam digitalizando as informações

de produção, permitindo o rastreamento, o monitoramento e o mapeamento dos fluxos de materiais, otimizando a tomada de decisão para desacelerar e fechar os ciclos de recursos [12].

Diante da necessidade de analisar tecnologias para impulsionar a sustentabilidade, este artigo busca responder: quais tecnologias digitais de armazenamento estão disponíveis para gerenciar o passaporte de materiais? O objetivo é mapear as ferramentas existentes e discutir como sua aplicação conjunta pode superar as barreiras atuais, promovendo uma gestão eficiente de informações que acelere a circularidade na construção civil.

MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa-descritiva, baseada em revisão bibliográfica**,** com o objetivo de mapear e analisar o conhecimento sobre Passaportes de Materiais (PMs) e as tecnologias de armazenamento associadas à sua implementação na indústria da construção.

A pesquisa foi estruturada em três etapas. A primeira consistiu na revisão bibliográfica**,** realizada na base de dados Web of Science. Foram utilizados termos de busca, divididos em três grupos semânticos: i) passaporte de materiais (*material passport, building passport, digital product passport);* ii) economia circular (*circular economy, circularity, cradle-to-cradle, etc.);* e iii) tecnologias digitais (digital technology), combinados por meio de operadores booleanos. Como critérios de seleção, priorizaram-se publicações em inglês, do tipo artigo ou artigo de revisão, sem recorte temporal e alinhadas às categorias de construção ou de engenharia civil. A segunda etapa envolveu o mapeamento e a categorização das principais tecnologias digitais associadas aos PMs de acordo com suas funcionalidades, como armazenamento e gestão de dados, rastreabilidade, interoperabilidade e suporte à tomada de decisão. Na terceira etapa, realizou-se uma análise qualitativa comparativa, que permitiu a proposição de diretrizes conceituais para integração dos PMs a sistemas existentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura revela que não há consenso quanto à gestão de PMs, e muitas tecnologias digitais vêm sendo exploradas para armazenar e compartilhar os dados de PMs entre diferentes interessados ao longo do ciclo de vida de uma edificação. Observa-se que o armazenamento dessas ferramentas ainda não depende de uma única ferramenta, mas de um ecossistema de tecnologias que podem ser organizadas em quatro categorias principais:

1. **Baseado em BIM:** O BIM é identificado como o "gêmeo digital" da edificação, servindo como repositório central que armazena e vincula metadados técnicos aos componentes individuais ao longo de seu ciclo de vida. A modelagem permite incluir e compartilhar informações sobre a composição e o potencial de reuso diretamente no modelo 3D [13]. Pode ser utilizado para aprimorar a

avaliação de alternativas de projeto com base no nível de circularidade e no custo total ao longo do ciclo de vida [14];

2. **Plataformas Digitais:** Surgem como soluções especializadas que atuam como cadastros online de materiais e como bancos de dados de circularidade. Exemplos como o Madaster operam em nuvem e processam dados de modelos BIM ou planilhas para gerar índices de circularidade e valores financeiros de recuperação [8, 15];
3. **Blockchain:** Esta tecnologia é utilizada para garantir a autenticidade, a imutabilidade e a transparência dos dados armazenados. O uso de Tokens Não Fungíveis (NFTs) permite criar identificadores únicos para materiais, facilitando o comércio de recursos secundários e evitando a duplicidade de registros em cadeias de suprimentos complexas [16, 17].
4. **Sistemas Híbridos:** Caracterizam-se pela integração de múltiplas tecnologias, como sensores IoT, etiquetas RFID e códigos QR, que conectam o material físico ao respectivo registro digital [11, 18]. Esses sistemas permitem o monitoramento em tempo real da localização e da condição dos materiais, integrando portais web às infraestruturas de armazenamento em nuvem.

Com base nas características identificadas, o Quadro 1 compara as principais abordagens tecnológicas para a implementação do PM, considerando critérios como o tipo de dados, o nível de detalhamento, a integração com outros sistemas e a usabilidade.

Quadro 1: Comparação de tecnologias para gestão de Passaporte de Materiais

Critério	**BIM-based**	**Plataformas digitais**	**Blockchain**	**Sistemas híbridos**
Tipo de dados	Geométricos e paramétricos	Índices de circularidade, ACV e custos	Transações e certificados de identidade	Dados produto e rastreamento
Nível de detalhamento	Muito alto (nível de componente)	Alto (foco em inventário)	Médio (foco em integridade)	Variável (depende dos sensores)
Integração	Alta com a fase de projeto	Alta via APIs e nuvem	Em crescimento	Muito alta (conecta físico e digital)
Usabilidade	Requer perícia técnica especializada	Alta (interfaces web intuitivas)	Complexa (infraestrutura de rede)	Facilitada para o usuário (QR Codes)
Fonte	[3, 13, 14]	[3, 8,15]	[16, 17]	[11, 12, 18]

Fonte: o autor.

CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA AS TECNOLOGIAS DIGITAIS

Uma plataforma digital para gerir e armazenar PMs precisa atender a uma série de requisitos para garantir eficiência, segurança, conformidade e facilidade de uso. Isso é fundamental, uma vez que uma edificação será um conjunto de diferentes passaportes de materiais, cada PM com diferentes tipos de dados e informações, destinados a diferentes finalidades e a diferentes pessoas interessadas ao longo do ciclo de vida da edificação. Esses dados e informações também terão formatos e *softwares* específicos

para leitura. Alguns dos principais requisitos observados na literatura e no conhecimento do autor são:

a. Segurança: os dados precisam ter criptografia, autenticação e *backup* para garantir que sejam armazenados, transmitidos e protegidos contra acessos não autorizados e perda de dados;

b. Conformidade: adesão a padrões, regulamentações e outras normativas específicas da indústria; e auditorias para monitorar o acesso e a manipulação de dados;

c. Escalabilidade e desempenho: capacidade de escalar conforme a demanda e desempenho para garantir operações eficientes;

d. Interoperabilidade: adotar APIs abertas (interfaces de programação de aplicações) para facilitar a integração com outros sistemas e plataformas, e compatibilidade com padrões do mercado (como XML, CSV);

e. Usabilidade: interface de usuário amigável e fácil de usar, suporte multidispositivo, suporte a múltiplos idiomas e formatos regionais;

f. Rastreabilidade e transparência: registro de todas as alterações realizadas nos PMs; capacidade de rastrear materiais ao longo de toda a cadeia de suprimentos;

g. Flexibilidade e customização: capacidade de adaptar a plataforma às necessidades específicas da empresa ou indústria; estrutura modular que permite adicionar ou remover funcionalidades conforme necessário;

h. Suporte e manutenção: Disponibilidade de suporte técnico para resolver problemas e auxiliar os usuários; atualizações regulares para incorporar novas funcionalidades e melhorar a segurança e o desempenho.

O Quadro 2 associa as abordagens tecnológicas mais discutidas na literatura (Quadro 1) às características requeridas.

Quadro 2: Comparação das tecnologias de gestão de PMs com características requeridas

Característica	BIM	Plataformas Digitais	Blockchain	Sistemas Híbridos
Segurança	Alta: Vincula dados de forma segura a objetos digitais	Alta: Utiliza criptografia, autenticação e controle de acesso	Extrema: Segurança baseada em algoritmos criptográficos e registros imutáveis	Variável: Depende da plataforma de nuvem
Conformidade	Focada em normas: Alinhamento com padrões de modelagem e ISOsda indústria	Regulatória: Adesão a normas e auditorias de dados de acordo com projeto	Auditável: Registro transparente que facilita auditorias e verificação de autenticidade.	Operacional: Monitoramento em tempo real para conformidade de manuseio e segurança
Escalabilidade e desempenho	Alta: Suporta modelos complexos com	Alta: Escalabilidade via infraestrutura de nuvem	Em Evolução: Descentralização pode impactar o desempenho	Alta: Capacidade de processar dados de milhares de

	grandes volumes de dados			sensores simultaneamente
Interoperabilidade	Moderada a Alta: Uso de padrões abertos (IFC) e integração via APIs	Alta: Adota APIs abertas e formatos comuns como XML e CSV	Alta: Facilita a troca de dados entre partes sem intermediários	Alta: Conecta tags físicas a portais web por meio de protocolos de internet
Usabilidade	Baixa/Técnica: Requer perícia em softwares como Revit	Muito Alta: Interface amigável (web/mobile) com suporte multidispositivo	Baixa: Complexidade técnica de implementação e infraestrutura	Muito Alta: Facilidade de uso via escaneamento de códigos (QR/RFID)
Rastreabilidade e transparência	Técnica: Rastreia componentes no "gêmeo digital" durante o ciclo de vida	Cadeia de Suprimento: Visibilidade ponta a ponta desde a produção até o reuso	Total: Registro imutável de todas as transações e histórico de propriedade	Física/Tempo Real: Rastreia localização e condição física do material no canteiro
Flexibilidade e customização	Alta: Estrutura modular que permite adicionar metadados específicos	Alta: Configuração adaptável às necessidades da empresa ou indústria	Programável: Flexibilidade por meio de contratos inteligentes	Alta: Permite escolher diferentes tipos de sensores conforme o material
Suporte e manutenção	Corporativo: Suporte técnico de grandes provedores e atualizações regulares	Especializado: Suporte qualificado e melhorias contínuas	Comunitário/Privado: Manutenção da rede e atualizações de protocolos	Híbrido: Requer manutenção tanto do hardware (sensores) quanto do software
Fonte	[3, 13, 14]	[3,8, 15]	[16, 17]	[11, 12, 18]

Fonte: o autor.

INTEGRAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA O PM

A viabilidade das tecnologias para a gestão do PM sugere uma abordagem incremental. As plataformas digitais oferecem flexibilidade no armazenamento em nuvens, mas também corroboram modelos de negócios privados. Apesar de a Blockchain oferecer um nível mais alto de segurança e imutabilidade, sua complexidade técnica e a necessidade de uma infraestrutura de rede robusta ainda representam barreiras à implementação imediata dessa solução.

A abordagem mais viável a curto prazo é a combinação de sistemas BIM, amplamente conhecidos mundialmente, com plataformas digitais e identificadores simples, como códigos QR. O BIM já possui um cronograma de obrigatoriedade nacional (Estratégia BIM BR), o que o torna a principal solução para o armazenamento e o compartilhamento de dados de circularidade. O uso de QR Codes oferece uma ponte entre o material físico no canteiro de obras e seu registro digital, o que pode reduzir as barreiras impostas pela baixa digitalização e pela informalidade do setor.

O BIM pode vincular o PM ao longo das fases de projeto e de construção, armazenando metadados detalhados de cada componente, incluindo sua composição, origem e

potencial de reuso [19]. Além disso, funciona como um "gêmeo digital" que vincula dados a itens físicos individuais ao longo de todo o ciclo de vida da edificação [13].

A integração entre BIM e PM pode resolver problemas de confidencialidade e segurança que impedem a partilha de dados entre os *stakeholders* da indústria da construção. No entanto, a informalidade no setor de recursos e resíduos, bem como a fragmentação da cadeia produtiva, dificultam a coleta de dados confiáveis. Além disso, a baixa digitalização das pequenas e médias empresas e a ausência de um protocolo padronizado para a partilha de informações constituem barreiras críticas.

O avanço da Estratégia BIM BR oferece uma base técnica para modernizar os processos de registro. Políticas públicas emergentes podem vincular o PM à documentação de registro de imóveis, criando um repositório nacional de materiais secundários. A crescente demanda por sustentabilidade e as metas de descarbonização pressionam o mercado a exigir maior transparência e eficiência no uso dos recursos.

CONCLUSÕES

O Passaporte de Materiais é uma ferramenta incipiente que vem sendo discutida academicamente, mas com baixa implementação empírica. Sua denominação, tipo, escopo e conteúdo têm evoluído ao longo do tempo e continuam a se desenvolver como uma ferramenta voltada à comunicação de diversas características das edificações a múltiplos *stakeholders*. O desenvolvimento e a gestão de PMs representam um passo fundamental para a transição da construção civil rumo a uma economia circular, ao facilitar o reuso dos recursos ao final da vida útil das edificações. A pesquisa demonstrou que as tecnologias digitais não são apenas ferramentas de armazenamento, mas também habilitadoras críticas, capazes de reduzir a assimetria de informação e a falta de rastreabilidade na cadeia de suprimentos.

O BIM se apresenta como a principal solução tecnológica para a criação do passaporte, atuando como o "gêmeo digital" que armazena os metadados técnicos e de circularidade desde a fase de projeto. A interoperabilidade e a falta de protocolos padronizados continuam sendo os maiores desafios técnicos, exigindo esforços de normalização para que os dados fluam entre diferentes softwares e stakeholders sem perdas.

No contexto brasileiro, sugere-se que a viabilização do PM dependa de uma ação conjunta entre o setor privado e o poder público. Uma recomendação estratégica é a criação de políticas que vinculem o PM à documentação de registro de imóveis, o que poderia fomentar um repositório nacional de materiais secundários e incentivar o mercado de reuso.

Como trabalhos futuros, aprofundar a análise das tecnologias disponíveis e elaborar uma análise de viabilidade da integração do PM nessas soluções. Além disso, recomenda-se investigar incentivos econômicos que motivem fabricantes e construtoras a compartilhar dados sensíveis em ecossistemas digitais abertos, bem como testar *frameworks* de PM em projetos de habitação de interesse social para validar sua escalabilidade.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito

REFERÊNCIAS

[1]. Munaro MR, Tavares SF, Bragança L (2020) Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment. J Clean Prod 260:. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121134

[2]. Munaro MR, Tavares SF (2021) Materials passport's review: challenges and opportunities toward a circular economy building sector. Built Environment Project and Asset Management. https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2020-0027

[3]. Çetin S, Raghu D, Honic M, Straub A, Gruis V (2023) Data requirements and availabilities for material passports: A digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings. Sustain Prod Consum 40:422–437.

[4]. Berger K, Baumgartner RJ, Weinzerl M, Bachler J, Preston K, Schöggl J-P (2023) Data requirements and availabilities for a digital battery passport – A value chain actor perspective. Cleaner Production Letters 4:100032.

[5]. Dervishaj A, Gudmundsson K (2024) From LCA to circular design: A comparative study of digital tools for the built environment. Resour Conserv Recycl 200:.

[6]. Almusaed A, Almssad A, Homod RZ, Yitmen I (2020) Environmental profile on building material passports for hot climates. Sustainability (Switzerland) 12:.

[7]. De Wolf C, Çetin S, Bocken N (2024) A Circular Built Environment in the Digital Age, First. Springer, Zurich

[8]. EPEA NB, SundaHus (2019) BAMB - Deliverable 7: Operational Materials passports

[9]. Honic M, Kovacic I, Rechberger H (2019) Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): An Austrian case study. J Clean Prod 217:787–797. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.212

[10]. Hossain U, Ng ST, Antwi-afari P, Amor B (2020) Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews 130:109948.

[11]. Vahidi A, Gebremariam AT, Di Maio F, Meister K, Koulaeian T, Rem P (2024) RFID-based material passport system in a recycled concrete circular chain. J Clean Prod 442:.

[12]. Keles C, Cruz Rios F, Hoque S (2025) Digital Technologies and Circular Economy in the Construction Sector: A Review of Lifecycle Applications, Integrations, Potential, and Limitations. Buildings 15

[13]. Akanbi LA, Oyedele LO, Akinade OO, Ajayi AO, Davila Delgado M, Bilal M, Bello SA (2018) Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. Resour Conserv Recycl 129:175–186.

[14]. Honic M, Kovacic I, Rechberger H (2019) Concept for a BIM-based Material Passport for buildings. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, Brussels, p 012073

[15]. Heisel F, Rau-Oberhuber S (2020) Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. J Clean Prod 243:118482.

[16]. Bułkowska K, Zielińska M, Bułkowski M (2023) Implementation of Blockchain Technology in Waste Management. Energies (Basel). 16

[17]. Wu L, Lu W, Peng Z, Webster C (2023) A blockchain non-fungible token-enabled 'passport' for construction waste material cross-jurisdictional trading. Autom Constr 149.

[18]. Gligoric N, Krco S, Hakola L, Vehmas K, De S, Moessner K, Jansson K, Polenz I, Van Kranenburg R (2019) SmartTags: IoT Product Passport for Circular Economy Based on Printed Sensors and Unique Item-Level Identifier. Sensors 19:586.

[19]. Ferreira Alves G, Gripp AK, Munaro MR, Tavares SF, Bragança L (2025) Application of Materials Passport to the Wood Frame Construction System Using Revit and Dynamo. Buildings 15:4323.