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.v21i1.8841

Integração de openBIM e avaliação de ciclo de vida híbrida: f*ramework* conceitual para passaportes de materiais em países em desenvolvimento

Integration of openBIM and hybrid life cycle assessment: conceptual framework for material passports in developing countries

Juliana de Andrade Roriz
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | julianaroriz@ufpr.br
Giovanna Ferreira Alves
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | giovannaferreira@ufpr.br
Sérgio Fernando Tavares
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | sergioftavares@gmail.com

Resumo

A Economia Circular exige ferramentas como os Passaportes de Materiais (PMs). Contudo, sua implementação em países em desenvolvimento esbarra no Abismo de Sustentabilidade e na sobrecarga de inserção manual no BIM convencional. Este artigo propõe um *framework* integrando openBIM e Avaliação de Ciclo de Vida Híbrida (ACV Híbrida) para automatizar PMs dinâmicos sob restrição de dados. A metodologia adota a *Design Science Research* (DSR) na fase de incubação da solução. Após levantamento bibliográfico de diagnóstico, estruturou-se um modelo lógico de interface entre a infraestrutura digital e a escassez de dados. Os resultados conceituais indicam que a arquitetura elimina exportações manuais, permite validação semântica (IDS/bsDD) e estabelece a ACV Híbrida para adaptar bases globais genéricas, mitigando teoricamente os erros de truncamento das avaliações tradicionais. O estudo contribui fornecendo uma infraestrutura digital viável para a circularidade nestas regiões.

Palavras-chave: Economia circular. Passaporte de materiais. openBIM. DAP. ACV híbrida.

Abstract

The Circular Economy requires tools like Material Passports (MPs). However, their implementation in developing countries faces the Sustainability Divide and the operational overload of manual data entry in conventional BIM. This article proposes a framework integrating openBIM and Hybrid Life Cycle Assessment (Hybrid LCA) to automate dynamic MPs in data-constrained contexts. The methodology adopts Design Science Research (DSR) in the solution incubation phase. Following a bibliographic diagnosis, a logical model was structured as an interface between the digital infrastructure and external data scarcity. Conceptual results indicate the architecture eliminates manual exports, enables semantic validation (IDS/bsDD), and establishes Hybrid LCA to adapt generic global databases, theoretically mitigating truncation errors from traditional assessments. This contributes a viable digital infrastructure for circularity in these regions.

Keywords: Circular economy. Material passports. openBIM. EPD. Hybrid LCA.

RORIZ, J. A.; ALVES, G. F.; TAVARES, S. F. Integração de openBIM e avaliação de ciclo de vida híbrida: *framework* conceitual para passaportes de materiais em países em desenvolvimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**. Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil atua como um dos principais vetores de impactos ambientais globais, sendo responsável por aproximadamente 39% das emissões de gases de efeito estufa, além de consumir entre 40% e 50% de todas as matérias-primas extraídas mundialmente [1], [2], [3]. Diante do esgotamento do modelo de Economia Linear (EL) e da geração de resíduos, a transição para a Economia Circular (EC) consolida-se como uma estratégia para a mitigação dos danos causados pela indústria da construção civil. A operacionalização deste modelo requer ferramentas de gestão da informação para documentar e rastrear as propriedades físicas e ambientais dos materiais ao longo do ciclo de vida das edificações. Neste contexto, o Passaporte de Materiais (PM) atua como um instrumento tecnológico para estruturar dados sobre o potencial de recuperação e reuso de componentes [4], [5]. No entanto, a literatura aponta que os PMs atuais operam frequentemente de forma estática, exigindo esforço manual de inserção de dados e limitando atualizações dinâmicas [1], [6].

A transposição do PM para a prática projetual encontra barreiras tecnológicas críticas [7]. A limitação de dados é verificada de forma expressiva em países em desenvolvimento devido à escassez de inventários locais e de Declarações Ambientais de Produto (DAPs). Esse cenário é conceituado na literatura como o Abismo de Sustentabilidade, que aponta a diferença estrutural na capacidade de produzir e utilizar dados de sustentabilidade [8]. Esta barreira reflete falhas sistêmicas na capacidade de rastreio ambiental global. A escassez de DAPs em países em desenvolvimento ocorre devido aos altos custos de certificação por terceira parte, à ausência de infraestrutura local de verificação e à falta de bancos de dados nacionais de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) [8]. Consequentemente, a aplicação de Regras de Categoria de Produto (PCRs) importadas não reflete as reais condições operacionais, de manufatura e de matriz elétrica locais [8]. Tais fatores mantêm a avaliação de circularidade estática e inviabilizam a padronização de dados exigida para os Passaportes de Materiais nessas regiões.

A utilização do chamado BIM Convencional - conceituado na literatura como a modelagem padrão voltada à economia linear, estática e incapaz de extrair e processar relações dinâmicas de circularidade e reversibilidade dos materiais [9] - apresenta restrições operacionais. Estudos aplicados no cenário brasileiro evidenciam que a ausência de DAPs primárias resulta no esvaziamento dos indicadores de sustentabilidade nos modelos, e que a dependência de processos manuais e problemas de interoperabilidade inviabilizam a adoção da ferramenta na rotina projetual [6]. Adicionalmente, esforços recentes voltados à rastreabilidade de materiais por meio de tecnologias como o *Blockchain* [10] concentram-se na fase de transação da informação, mas não apresentam soluções metodológicas para a geração do dado ambiental inexistente na origem.

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo evidenciar as limitações informacionais do BIM convencional frente à escassez de DAPs em países em desenvolvimento no âmbito dos PMs e propor um *framework* conceitual baseado no ecossistema openBIM. Apoiado nas diretrizes da *buildingSMART International* e na

literatura recente [11], [12], o modelo utiliza padrões abertos (Dicionário de Dados - bsDD, Especificação de Entrega de Informação - IDS e APIs) integrados à Avaliação de Ciclo de Vida Híbrida (ACV Híbrida) para promover a automação e a validação de Passaportes de Materiais dinâmicos.

MÉTODO

A pesquisa caracteriza-se como exploratória e propositiva, estruturada em duas etapas principais: (1) levantamento bibliográfico para diagnóstico do problema e (2) proposição de um modelo conceitual (*Framework*).

A primeira etapa consistiu em um levantamento bibliográfico exploratório conduzido nas bases de dados Scopus e Web of Science para investigar a intersecção entre PMs, Economia Circular, ecossistema openBIM e Avaliação de Ciclo de Vida (ACV/DAPs). A estratégia de busca inicial utilizou a *string* ("*Material Passport*" OR "*Circular Economy*") AND ("*Building Information Modeling*" OR "BIM" OR "openBIM") AND ("*Life Cycle Assessment*" OR "LCA" OR "*Environmental Product Declaration*" OR "EPD"), retornando 97 documentos em cada base nesta etapa da presente pesquisa o que evidenciou a consolidação do tema no cenário global.

Para diagnosticar a disponibilidade tecnológica em contextos de restrição de dados, aplicou-se um filtro geográfico adicionando os termos AND ("*Developing Countries*" OR "*Global South*"). Esta etapa reduziu o retorno para apenas 3 documentos em cada base. Mais do que quantificar a literatura, essa queda drástica atua como um indicador sintomático da existência do Abismo de Sustentabilidade [8], comprovando que as soluções tecnológicas documentadas nas bases de alto impacto estão concentradas em países desenvolvidos. Para complementar essa lacuna de indexação, o levantamento incorporou pesquisas aplicadas do cenário nacional (teses, dissertações e anais de eventos técnicos) [2], [6], [10], permitindo mapear as barreiras práticas de interoperabilidade e a sobrecarga operacional do BIM convencional enfrentadas na indústria brasileira.

A segunda etapa compreendeu a formulação do *Framework* Conceitual. Com base nas limitações operacionais diagnosticadas no levantamento, estruturou-se uma proposta de fluxo de trabalho fundamentada na arquitetura openBIM. Foram articulados os conceitos de extração automatizada via APIs, validação de requisitos circulares por meio de IDS e bsDD, e a aplicação da ACV híbrida como mecanismo de compensação para a ausência de DAPs primárias locais. As etapas de identificação e síntese encontram-se sumarizadas na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma das etapas do levantamento bibliográfico exploratório evidenciando a lacuna de pesquisa.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8841



Fonte: os autores.

ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO: PESQUISA CONSTRUTIVA E DESIGN SCIENCE RESEARCH

O desenvolvimento do framework conceitual proposto neste trabalho está ancorado nos princípios da Pesquisa Construtiva [13] e da *Design Science Research* (DSR) [14]. Essas abordagens fundamentam a produção de conhecimento científico por meio da criação de artefatos conceituais capazes de estruturar problemas complexos. O presente trabalho se posiciona no ciclo de concepção e formalização lógica do artefato, reconhecendo que etapas subsequentes de avaliação empírica dependem da disponibilidade de dados em desenvolvimento na pesquisa de mestrado.

Segundo a taxonomia clássica de March e Smith [15], o artefato aqui proposto enquadra-se como um modelo, consistindo em uma representação formal das relações entre constructos operacionais. No contexto deste estudo, os constructos abrangem as entidades de dados da arquitetura openBIM (esquema IFC e o dicionário bsDD), as métricas matemáticas da ACV híbrida e os parâmetros exigidos para os PMs. A articulação algorítmica entre esses constructos atua, conforme os fundamentos de Simon [16], como uma interface entre o ambiente interno e o ambiente externo. O ambiente interno é representado pela infraestrutura digital e suas regras de validação legíveis por máquina (IDS), enquanto o ambiente externo caracteriza-se pela escassez de dados primários e pelo Abismo de Sustentabilidade na indústria da construção em países em desenvolvimento.

Sob a ótica do amadurecimento da pesquisa em engenharia, a proposição deste modelo situa-se metodologicamente na fase de incubação da solução mediante a materialização de *frameworks* [17]. Esta fase permite delinear o fluxo informacional e a arquitetura lógica necessários para contornar a ausência de DAPs antes da instanciação computacional empírica de um software final. O rigor teórico estabelecido nesta etapa de incubação visa assegurar a viabilidade estrutural da integração, garantindo que o desenho da solução corrija os erros de truncamento das avaliações tradicionais e aponte caminhos automatizados para a gestão da circularidade no ambiente construído.

FASES METODOLÓGICAS DE DESENVOLVIMENTO DO FRAMEWORK

O método adotado para o desenvolvimento do framework foi estruturado em três fases principais, alinhadas às recomendações da Pesquisa Construtiva. A primeira fase consistiu na identificação e formalização do problema, com foco na escassez e fragmentação de dados ambientais em países em desenvolvimento (o Abismo de Sustentabilidade). A segunda fase envolveu a definição dos requisitos conceituais do *framework*, identificando as necessidades mínimas de informação para viabilizar a rastreabilidade e a circularidade de materiais, com ênfase no mapeamento entre classes do esquema IFC e informações relevantes para desmontagem e reuso. Por fim, a terceira fase correspondeu à modelagem lógica do framework conceitual, na qual as camadas openBIM, ACV híbrida e PMs foram organizadas de forma integrada, estabelecendo uma arquitetura conceitual capaz de orientar futuras implementações e estudos de caso independentes de softwares proprietários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ABISMO DE DADOS E AS LIMITAÇÕES DO BIM CONVENCIONAL

A estruturação dos PMs foca primariamente na otimização da recuperação de valor dos componentes construtivos [18]. A implementação desta ferramenta, no que se refere a dados de sustentabilidade, depende, entre outras informações, de métricas extraídas de ACV e de DAPs. Existe, contudo, uma discrepância matemática na disponibilidade desses dados entre regiões. Países desenvolvidos apresentam alta emissão de DAPs, suportada por infraestruturas de dados consolidadas. Em contraste, países em desenvolvimento registram severa escassez de inventários locais [8]. Esse cenário é conceituado na literatura como o Abismo de Sustentabilidade. Tal assimetria informacional restringe a rastreabilidade e a tomada de decisão para a adoção de práticas circulares nestes locais [1], [8].

A limitação informacional reflete-se no uso de plataformas de BIM convencional. Estudos recentes em nível global corroboram que a fragmentação de dados ao longo da cadeia de valor e a incompatibilidade de formatos limitam a extração de métricas de circularidade e a implementação de PMs [19]. Ferramentas digitais esbarram frequentemente na falta de interoperabilidade, evidenciando a escassez de dados precisos e legíveis por máquina (*machine-readable*) como a principal barreira técnica [19]. Tais limitações dificultam a interpretação automática de DAPs digitais em formatos nativos (IFC), resultando em perdas de informação durante a troca de dados entre as plataformas de modelagem e os softwares de avaliação ambiental [19].

A SOLUÇÃO TECNOLÓGICA: OPENBIM E VALIDAÇÃO DIGITAL

O *framework* proposto supera a ineficiência inerente ao uso do BIM convencional. A literatura estabelece que a dependência de processos manuais para a inserção e exportação de parâmetros de sustentabilidade gera sobrecarga operacional exaustiva, tornando a ferramenta comercialmente inviável antes da automação [6]. Em contrapartida, a arquitetura openBIM viabiliza a extração automatizada via Interfaces

de Programação de Aplicações (APIs), conectando a geometria digital diretamente a bancos de dados ambientais em nuvem [3]. A substituição do preenchimento manual por fluxos algorítmicos reduz o tempo de modelagem e cálculo de horas para minutos, alcançando uma comprovação de ganho de eficiência de tempo de 91,5% [20]. Esse desempenho garante o rastreio de carbono e a emissão do PMs de forma contínua, contornando a fragmentação de dados comum na exportação de arquivos estáticos [11], [12].

Para que os PMs operem com precisão rigorosa, a conformidade das propriedades nos modelos é atestada por meio da Auditoria de Conformidade Automatizada (*Automated Compliance Checking* - ACC) [11], [12]. O Dicionário de Dados (*buildingSMART Data Dictionary* - bsDD) atua padronizando a semântica, fornecendo um vocabulário comum e identificadores globais legíveis por máquina para as propriedades ambientais [11], [12]. Integrado ao bsDD, a Especificação de Entrega de Informação (IDS) estrutura regras estritas baseadas em XML que definem a aplicabilidade e os requisitos lógicos dos objetos IFC. Essa combinação permite que scripts computacionais inspecionem de forma autônoma se o componente construtivo possui as métricas de circularidade exigidas, eliminando o erro humano e a dependência de revisões visuais em softwares proprietários [11], [12].

CAMADA OPENBIM E A EXTRAÇÃO SEMÂNTICA DE DADOS

A camada openBIM do *framework* concentra-se na estruturação e extração semântica de dados do modelo digital da edificação, reconhecendo o modelo IFC como elemento central para a interoperabilidade. Estudos recentes indicam que a principal contribuição do BIM para estratégias de economia circular reside na capacidade de associar entidades construtivas a informações semânticas relevantes ao longo do ciclo de vida, como composição de materiais, potencial de desmontagem e reversibilidade [3].

Na lógica operacional do *framework*, o fluxo informacional partiria da definição de um modelo contendo classes representativas (como *IfcWall, IfcSlab, IfcWindow*), onde os atributos geométricos e de materiais necessários à quantificação do inventário são associados a propriedades padronizadas no bsDD [12]. Integrado ao bsDD, regras baseadas em IDS (Information Delivery Specifications) especificariam em formato XML quais propriedades de circularidade são obrigatórias, inspecionando de forma autônoma se o componente possui as métricas exigidas antes de liberar os dados para as APIs de ACV [11], [12]. Embora este trabalho não implemente computacionalmente tais mecanismos por tratar-se de um modelo propositivo, o framework reconhece sua relevância conceitual e os posiciona como elementos-chave para a mitigação de erros operacionais.

A SOLUÇÃO METODOLÓGICA: AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA HÍBRIDA

A automação via API atua de forma complementar à ACV híbrida nos cenários de escassez de DAPs locais primárias. A ACV tradicional baseada puramente em processos (P-ACV) subestima matematicamente as métricas de carbono incorporado devido ao

erro de truncamento das fronteiras do sistema, omitindo impactos indiretos a montante na cadeia de suprimentos [21].

A ACV híbrida atua sobre essa limitação fundindo o rigor do inventário de processos com a abrangência das matrizes macroeconômicas de insumo-produto. Esse cruzamento corrige o truncamento e ajusta a subestimação de impactos ambientais em proporções que chegam a 60% [21]. Esta abordagem metodológica permite o uso adaptado de bases de dados globais genéricas, garantindo a completude da avaliação e a estabilidade estatística necessária para o preenchimento de PMs dinâmicos em mercados desprovidos de inventários regionais específicos [3], [21].

SUPERAÇÃO DA ESCASSEZ DE DADOS POR MEIO DA ACV HÍBRIDA E DISCUSSÃO INTERNACIONAL

A literatura internacional evidencia um forte contraste tecnológico. Ao analisarem o estado da arte das ferramentas digitais para o ambiente construído, Dervishaj e Gudmundsson [3] exemplificam que a transição para o design circular dinâmico ocorre por meio de plugins computacionais e APIs abertas (como BHoM, RhinoCircular e ferramentas visuais atreladas ao BIM) que conectam a geometria diretamente a extensos bancos de dados genéricos de ACV para cálculos contínuos. No entanto, a aplicação dessas tecnologias avançadas sofre um bloqueio estrutural em países em desenvolvimento, diagnosticado por Ansah et al. [8] como o Abismo de Sustentabilidade. Em sua revisão, os autores demonstram que os altos custos de certificação e a inexistência de Inventários de Ciclo de Vida (ICVs) locais forçam a utilização de Regras de Categoria de Produto (PCRs) importadas. Isso cria uma barreira técnica para a digitalização. Ao se conectar a extração automatizada do BIM a bases globais puramente processuais corre-se o risco de refletir matrizes elétricas e processos de manufatura de países desenvolvidos, distorcendo os impactos ambientais locais. O *framework* proposto atua no centro dessa lacuna empírica: ele apropria-se da arquitetura de integração via APIs defendida por Dervishaj e Gudmundsson [3], mas estabelece a ACV Híbrida como o mecanismo matemático indispensável para recalibrar as bases genéricas, contornando a defasagem e a distorção de inventários primários alertadas por Ansah et al. [8].

FRAMEWORK CONCEITUAL INTEGRADO

A síntese das etapas operacionais propostas encontra-se no *Framework* detalhado na Tabela 1, que relaciona o problema estrutural à solução baseada nas tecnologias abordadas e suportadas pela literatura.

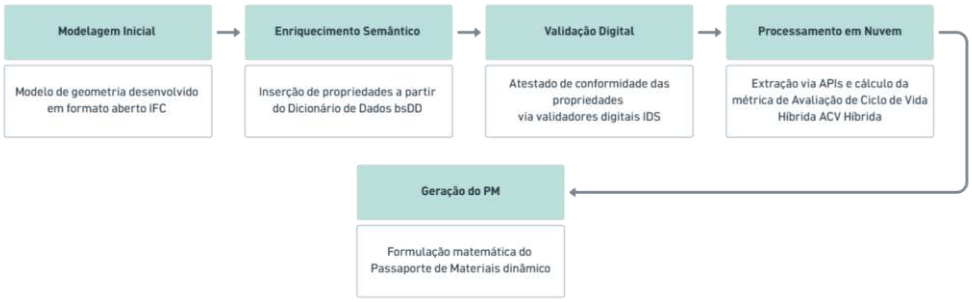
Tabela 1: Matriz do Framework Conceitual e Soluções Tecnológicas

Domínio do Problema	Barreiras Identificadas	Solução Proposta no Framework	Referências
Dados Globais	Menor disponibilidade de DAPs em países em desenvolvimento (Abismo de Sustentabilidade).	Uso de bases genéricas globais adaptadas via ACV Híbrida.	[21]
Operacional	Preenchimento manual no BIM convencional demanda maior tempo de trabalho.	Automação via programação visual (APIs) com registro de até 91,5% de ganho de eficiência de tempo.	[20]
Interoperabilidade	Limitações no formato IFC para leitura automática de DAPs.	Enriquecimento semântico suportado por dicionários padronizados (bsDD).	[11], [19]
Conformidade	Inconsistência nos dados ambientais ou uso de formatos estáticos.	Auditoria de Conformidade Automatizada por meio da verificação de regras via IDS.	[11], [12]
Metodologia	Truncamento da cadeia na P-ACV tradicional.	Aplicação de ACV híbrida para ampliar os limites do sistema e corrigir variações de cálculo de até 60%.	[21]

Fonte: os autores.

A integração desses processos estabelece um fluxo informacional estruturado. Inicialmente, o modelo de geometria é desenvolvido em formato aberto. Em seguida, recebe o enriquecimento semântico a partir do dicionário de dados (bsDD) e é submetido aos validadores digitais (IDS), que atestam a conformidade das propriedades. As APIs realizam a extração e as conexões em nuvem para o processamento da métrica da ACV híbrida, culminando na formulação do PM. A Figura 2 ilustra essa trajetória metodológica.

Figura 2: Diagrama de blocos mostrando o fluxo sistêmico.



Fonte: os autores.

LIMITAÇÕES DO FRAMEWORK

O modelo conceitual proposto apresenta limitações inerentes ao atual estágio de digitalização da construção civil. A integração informacional é prejudicada pela falta de harmonização internacional nos formatos das DAPs, limitando a legibilidade por máquina (*machine-readability*) em processos totalmente automatizados [19]. Adicionalmente, as restrições de granularidade do esquema IFC dificultam o mapeamento exato de métricas complexas de economia circular em estágios iniciais de projeto. Recomenda-se que pesquisas futuras desenvolvam Gêmeos Digitais Cognitivos (*Cognitive Digital Twins*) fundamentados em ontologias de rede (como *ifcOWL*), viabilizando o monitoramento autônomo dos componentes durante as fases de uso e manutenção, e que implementem o presente framework em estudos de caso empíricos para validação.

CONCLUSÃO

A pesquisa apontou que a indisponibilidade de DAPs estruturadas em países em desenvolvimento e as restrições operacionais das plataformas de BIM convencionais dificultam a quantificação automatizada dos impactos ambientais (como o carbono incorporado) no âmbito dos PMs. O estudo propôs um *framework* apoiado em tecnologias openBIM para transpor o Abismo de Sustentabilidade.

A adoção de integrações via APIs atua em substituição às exportações manuais, gerando eficiência de tempo de operação e reduzindo erros de entrada. A utilização conjunta do IDS e do bsDD permite a validação legível por máquina dos requisitos de circularidade, reduzindo a dependência de soluções de *softwares* proprietárias. No aspecto metodológico, o *framework* indica a execução da ACV híbrida, que atua na correção das falhas de truncamento verificadas no método tradicional e fornece suporte quantitativo viável na ausência de inventários locais. O modelo conceitual apresenta etapas estruturadas para amparar as práticas de circularidade no setor construtivo em cenários com restrição de dados primários. Por se tratar de uma proposição conceitual, as limitações inerentes a este estudo residem na ausência de validação empírica do fluxo de dados. Pesquisas futuras devem focar na instanciação computacional deste *Framework* em estudos de caso reais, avaliando quantitativamente a interoperabilidade e a acurácia dos indicadores gerados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio fornecido.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a preparação deste artigo, a primeira autora utilizou a plataforma Consensus para suporte na localização de referências bibliográficas e a ferramenta NotebookLM para auxílio na geração de scripts para a construção do diagrama do *framework*, para revisão ortográfica e melhoria de coesão no manuscrito. Após a utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy: The construction sector perspective. **Cleaner and Responsible Consumption**, v. 8, p. 100107, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clrc.2023.100107.

[2] MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. A economia circular na construção civil: principais barreiras e oportunidades para a transição do setor. **Rev. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 18, n. 53, p. 54-71, 2022. DOI: https://doi.org/10.3895/rts.v18n53.15726.

[3] DERVISHAJ, A.; GUDMUNDSSON, K. From LCA to circular design: A comparative study of digital tools for the built environment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 200, p. 107291, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107291.

[4] MARKOU, I.; SINNOTT, D.; THOMAS, K. Current methodologies of creating material passports: A systematic literature review. **Case Studies in Construction Materials**, v. 22, p. e04267, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04267.

[5] MAO, S.; CAO, W.-J. Evaluating material passports for circularity in the construction industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 54, p. 88-101, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.12.021.

[6] ALVES, G. F. Passaporte de materiais a partir de modelagem da informação da construção: aplicação utilizando Revit e Dynamo. 2023. 133 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)** – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

[7] MARCHESI, M. et al. Technical barriers to circular economy implementation in the built environment: A problem-based multi-level review. **Sustainable Cities and Society**, p. 107380, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107380.

[8] ANSAH, N. B.; SADIQ, M. A.; AIDOO, I. Bridging the Sustainability Divide: A Systematic Review of Environmental Product Declarations for Construction Materials (2015-2025). **Advances in Engineering Research**, v. 286, p. 180-208, Atlantis Press, 2025.

[9] DURMISEVIC, E. et al. Development of a conceptual digital deconstruction platform with integrated Reversible BIM to aid decision making and facilitate a circular economy. **Proceedings of the CIB W78 Conference**, 2021.

[10] SANTOS, R. O. A.; SANTOS, G. C. T.; ALBERTE, E. P. V. Proposta de uso de BIM e Tecnologia Blockchain para gestão da edificação como um banco de materiais. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

[11] TOMCZAK, A. et al. Requiring circularity data in Bim with information delivery specification. **Circular Economy**, v. 1, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.55845/REJY5239.

[12] FONSATI, A.; DERVISHAJ, A.; GUDMUNDSSON, K. Leveraging OpenBIM standards and information delivery specification (IDS) for digital validation in circular construction. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2025. DOI: https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2025-0683.

[13] LUKKA, K. The Constructive Research Approach. **In:** OJALA, L.; HILMOLA, O. P. (ed.). **Case Study Research in Logistics and Supply Chain Management**. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, 2003. p. 83-101.

[14] DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. *Design Science Research:* método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. DOI: https://doi.org/10.13140/2.1.2264.2885.

[15] MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995. DOI: https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2.

[16] SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3. ed. Cambridge: MIT press, 1996. DOI: https://doi.org/10.36253/contest-17038.

[17] HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging practice and theory: a design science approach. **Decision Sciences**, v. 40, n. 1, p. 65-87, 2009. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.

[18] LUSCUERE, L. M. Materials Passports: Optimising value recovery from materials. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management**, v. 170, n. 1, p. 25-28, 2017. DOI: https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00016.

[19] ARAGÓN, A. et al. Bridging Interoperability Gaps Between LCA and BIM: Analysis of Limitations for the Integration of EPD Data in IFC. **Buildings**, v. 15, n. 15, p. 2760, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15152760.

[20] GACHKAR, S. et al. A data-driven workflow for automated life cycle assessment in building refurbishment. **Energy & Buildings**, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2026.117460.

[21] BAKINDI, A. et al. Hybrid Life Cycle Assessment (H-LCA) for Buildings and Construction Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Building and Environment**, v. 272, p. 112630, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112630.