DESAFIOS DA ESTRUTURAÇÃO DE DADOS PARA INTEGRAÇÃO BIM-ACV

Challenges of Data Structuring for BIM-LCA Integration

Juliana Giazzon Cavalli
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, julianagiazzon@gmail.com

Eduardo Luis Isatto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, isatto@ufrgs.br

RESUMO

A construção civil responde por cerca de 39% das emissões globais de CO_2 relacionadas à energia, demandando soluções urgentes para mitigar seus impactos ambientais. A integração entre Building Information Modeling (BIM) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem sendo estudada como uma estratégia importante para considerar os impactos ambientais de produtos e processos desde as fases iniciais de projeto. No entanto, essa integração enfrenta barreiras relacionadas à qualidade, disponibilidade e interoperabilidade dos dados. Este estudo consiste em uma revisão de literatura de natureza qualitativa, conduzida sem protocolo sistemático, o que representa uma limitação quanto à replicabilidade dos resultados. A pesquisa analisou publicações relevantes que discutem as abordagens para a integração BIM-ACV e os desafios associados, com foco na estruturação dos dados. Os resultados apontam que os principais obstáculos são a inconsistência e a incompletude dos bancos de dados de ACV, a falta de padronização das informações e a complexidade inerente às fases iniciais de projeto. Como principal contribuição, o estudo destaca a necessidade de desenvolvimento de ferramentas de interoperabilidade e de padrões de dados mais robustos, visando viabilizar uma integração eficiente entre BIM e ACV, capaz de apoiar decisões sustentáveis na construção civil.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção; Avaliação do Ciclo de Vida; Interoperabilidade; Digitalização da Construção.

ABSTRACT

The construction sector accounts for approximately 39% of global CO_2 emissions related to energy, highlighting the urgent need for solutions to mitigate its environmental impacts. The integration of Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) has been studied as an important strategy to consider the environmental impacts of products and processes from the early design stages. However, this integration still faces challenges related to data quality, availability, and interoperability. This study consists of a qualitative literature review, conducted without a systematic protocol, which represents a limitation regarding the replicability of the results. The research analyzed relevant publications discussing approaches for BIM-LCA integration and the associated challenges, focusing on data structuring. The results indicate that the main obstacles are the inconsistency and incompleteness of LCA databases, the lack of standardized information, and the complexity inherent to early design stages. As the main contribution, the study highlights the need to develop interoperability tools and more robust data standards, aiming to enable an effective BIM-LCA integration that supports sustainable decision-making in the construction sector.

Keywords: Building Information Modeling; Life Cycle Assessment; Interoperability; Digital Construction.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é responsável por 32% do consumo direto de energia e por aproximadamente 34% das emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de energia (UNEP/GlobalABC/IEA, 2025). Além disso, contribui com 40% da depleção dos recursos naturais e gera 25% dos resíduos sólidos produzidos globalmente (Hossain & Thomas Ng, 2019). Essa significativa pegada ambiental posiciona a indústria da construção como um foco central para os esforços globais de mitigação dos impactos ambientais.

Com a adoção do Acordo de Paris em 2015, muitos países estabeleceram metas ambiciosas para a redução do impacto ambiental, que devem abranger não apenas a fase operacional das construções, mas também todas as etapas do ciclo de vida dos edifícios (Lignum, 2024). Diante desse cenário, enfrentar os desafios complexos da sustentabilidade requer a superação das barreiras tradicionais entre disciplinas e o desenvolvimento de novos métodos de projeto que integrem diferentes áreas de conhecimento e partes interessadas (Vite et al., 2021).

Nos últimos anos, observou-se um aumento significativo na demanda e no interesse por ferramentas de avaliação de sustentabilidade voltadas para projetistas de edifícios (Prideaux et al., 2024). Essas iniciativas ganharam ainda mais relevância a partir do início do projeto Anexo 72, em 2016 (Safari & Azari-Jafari, 2021).

No contexto atual da digitalização da construção, a integração entre Building Information Modeling (BIM) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surge na literatura como uma das principais tendências de pesquisa para promover a sustentabilidade no setor. O BIM destaca-se como um facilitador para a sustentabilidade, pois apoia a implementação de um design integrado (Díaz & Anton, 2014) por meio de modelos digitais tridimensionais e bancos de dados que promovem a coordenação e a comunicação entre os envolvidos nos projetos de construção (NEFF et al., 2010). Essa ferramenta é essencial para um planejamento holístico desde as fases iniciais, além de auxiliar na tomada de decisões relacionadas a tempo, custo e emissões de carbono durante a construção (Alsehrawy, Amoudi & Kumar, 2017).

Díaz e Anton (2014) destacam que o uso do BIM para a realização de ACV é vantajoso, pois o modelo BIM agrega dados que podem ser diretamente utilizados para essa finalidade, eliminando o desperdício de tempo e recursos decorrentes de uma gestão ineficiente de informações. No entanto, conforme apontado por Safari e Azari-Jafari (2021), a incorporação de processos e dados de ACV no ambiente BIM ainda enfrenta limitações, principalmente devido à falta de uma estrutura comum e abrangente que promova a interoperabilidade entre as ferramentas.

A integração BIM-ACV é reconhecida como uma área crescente de pesquisa, com o potencial de viabilizar a realização de ACV já nas fases iniciais do projeto, permitindo que ela evolua dinamicamente conforme o desenvolvimento do projeto. Essa abordagem proporciona informações valiosas para decisões mais precisas e ambientalmente responsáveis.

Este trabalho tem como objetivo investigar os principais desafios relacionados à estruturação de dados para a integração de BIM-ACV com ênfase na interoperabilidade entre ferramentas e na estruturação de dados confiáveis, buscando contribuir para o desenvolvimento de soluções que promovam a sustentabilidade na construção civil e facilitem a adoção de práticas mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo adotou uma revisão de literatura de natureza qualitativa, com o objetivo de identificar as principais abordagens e desafios associados à estruturação de dados na integração BIM-ACV. Optou-se por um modelo de revisão narrativa, sem seguir um protocolo rigidamente estruturado, porém com critérios explícitos de busca, seleção e análise dos materiais.

As buscas foram realizadas nas bases de dados Scopus e Google Scholar, utilizando combinações dos termos: "*BIM AND LCA*", "*BIM AND life cycle assessment*", "*BIM LCA integration*", "*BIM AND sustainability*", e "*data structure BIM LCA*". Foram considerados documentos publicados entre 2014 e 2024, nos idiomas inglês e português, que abordassem diretamente a integração entre modelos BIM e bases de dados ambientais ou a realização de ACV no ambiente BIM. Os critérios de inclusão contemplaram artigos científicos, revisões, capítulos de livros e documentos técnicos que apresentassem discussões relacionadas a metodologias, ferramentas, desafios ou soluções para a integração BIM-ACV, com foco especial nas questões de estruturação de dados e interoperabilidade. Foram excluídos trabalhos que abordavam apenas temas correlatos, sem tratar diretamente da integração entre essas duas ferramentas.

A seleção inicial foi feita com base na leitura dos títulos e resumos, sendo posteriormente refinada a partir da leitura integral dos textos que atenderam aos critérios de pertinência. Ao todo, foram analisados 14

documentos considerados os mais relevantes para os objetivos desta pesquisa. A análise dos materiais buscou identificar os principais desafios técnicos, metodológicos e operacionais presentes na literatura sobre o tema, além de mapear as diferentes abordagens propostas para viabilizar a integração entre BIM e ACV.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 QUALIDADE E DISPONIBILIDADE DOS DADOS

As normas NBR ISO 14040:2009 e NBR ISO 14044:2009, que tratam respectivamente dos princípios e da estrutura da ACV e dos requisitos e diretrizes para sua condução, são amplamente utilizadas para mensurar os impactos ambientais de produtos e processos. De acordo com a NBR ISO 14040:2009, a ACV é composta por quatro fases principais:

1. Definição do Objetivo e Escopo;
2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV);
3. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida;
4. Interpretação dos resultados.

A etapa II (Inventário do Ciclo de Vida) é de particular interesse para esta discussão, pois envolve a coleta, organização e quantificação de dados, incluindo a lista de materiais, o consumo de energia em cada unidade de processo e as quantidades correspondentes de emissões ou uso de recursos (Safari & Azari-Jafari, 2021). Para que essa etapa seja realizada de forma eficiente, é essencial que todos os dados necessários estejam disponíveis, sejam eles coletados diretamente pelos realizadores da ACV ou obtidos de bancos de dados especializados. A precisão e completude desses dados é crucial, uma vez que a precisão da análise depende diretamente da confiabilidade das informações utilizadas (Díaz & Anton, 2014; RICS, 2023). No entanto, a disponibilidade de dados é um desafio que tende a perdurar pelos próximos anos, pois muitos materiais e processos ainda não possuem seus impactos ambientais devidamente quantificados e o levantamento de todos esses dados requer um grande volume de trabalho, recursos financeiros e tempo.

Cavalliere et al. (2018) destacam que a inconsistência nos conjuntos de dados disponíveis nos bancos de dados afeta diretamente os resultados da ACV. A incompletude dos bancos de dados de ACV são amplamente discutidas na literatura e afetam diretamente os resultados das análises. Além disso, a escassez de dados regionais limita a capacidade de realizar ACVs mais contextualizadas (Safari & Azari-Jafari, 2021).

Outro desafio atual é a diversidade nos formatos de dados e fontes. Esses dados podem estar organizados em planilhas, softwares independentes, plataformas baseadas na web ou integrados a ferramentas de design e programas CAD. A heterogeneidade entre formatos de armazenamento como planilhas, softwares proprietários e ambientes BIM/CAD dificulta a interoperabilidade e a automação do processo (Prideaux et al., 2024; OneClick LCA, 2024). Essa variedade de formatos dificulta a interoperabilidade, já que os dados possuem definições e estruturas distintas, muitas vezes incompatíveis com modelos de informações não especializadas (Safari & Azari-Jafari, 2021).

Diante desses desafios, a maioria dos estudos tem focado na utilização de ferramentas BIM para extrair quantitativos de materiais (Safari & Azari-Jafari, 2021), realizando a ACV posteriormente de forma manual ou em softwares específicos. Cavalliere et al. (2018) ressaltam que grande parte do tempo e esforço é dedicada à elaboração de planilhas de quantitativos e à busca pelos conjuntos de dados corretos em bancos de dados de materiais de construção.

Para superar as barreiras de interoperabilidade, Safari e Azari-Jafari (2021) e Vite et al. (2021) sugerem a criação de uma convenção de nomenclatura compartilhada entre bancos de dados de ACV e modelos BIM. A utilização de softwares que integram ACV com bases de dados EPD (*Environmental Product Declarations)*, como o OneClick LCA, vem se consolidando como estratégia no sentido de diminuir o volume de trabalho manual através da automatização dos cálculos. Essas ferramentas utilizam bancos de dados padronizados com nomenclaturas consistentes e interoperáveis (OneClick LCA, 2024). Nesse sentido, a buildingSMART Internacional tem desenvolvido e implementado o *Database for Smart Structures* (DBSS), uma iniciativa voltada à padronização de dados para facilitar a integração BIM-ACV. O DBSS é projetado para apoiar análises relacionadas ao BIM 6D (dimensão de sustentabilidade) e ao BIM 7D (gestão de facilities), incluindo informações sobre módulos, indicadores e propriedades de ACV (Lignum, 2024).

3.2 INCERTEZA NO PROCESSO DE PROJETO

O processo de design de edifícios é altamente complexo, caracterizado por um elevado grau de incerteza influenciado por diversos fatores, como o tamanho do projeto, os custos, a quantidade de atores envolvidos, o nível de habilidades e experiência dos designers, o contexto geográfico e cultural, as políticas de planejamento e as regulamentações de construção (Prideaux et al., 2024). Além disso, o edifício em si é composto por uma ampla variedade de produtos, cada um com características específicas, vida útil e impactos ambientais variáveis. Essas incertezas comprometem a robustez em uma ACV, e os resultados podem variar consideravelmente dependendo das particularidades de cada projeto e das incertezas inerentes às fases de design e construção (Safari & Azari-Jafari, 2021).

A realização da ACV nas fases iniciais do projeto permite que os arquitetos adotem uma abordagem fundamentada, com maior controle sobre o processo, resultando em economia de energia e em projetos mais sustentáveis e responsáveis (Vite et al., 2021). A integração BIM-ACV busca justamente antecipar a avaliação ambiental para as fases iniciais do projeto, promovendo decisões mais sustentáveis. No entanto, essa antecipação exige dados quantitativos detalhados ainda não definidos com precisão, como materiais e camadas construtivas (Forth et al., 2023). Quando esses dados são estimados com baixa granularidade, os resultados da ACV podem perder confiabilidade, limitando seu uso na prática do design.

Além disso, há lacunas substanciais na disponibilidade de dados ambientais, especialmente em relação a materiais regionais, tecnologias emergentes e fases específicas do ciclo de vida (Cavalliere et al., 2018; IEA, 2023). O desafio é que, nessa fase, a composição exata dos materiais e sistemas do edifício ainda é incerta e sujeita a mudanças (Prideaux et al., 2024; Safari & Azari-Jafari, 2021). Como os elementos do projeto não evoluem simultaneamente, uma ACV realizada no início pode não refletir adequadamente os componentes especificados posteriormente ou as mudanças ocorridas ao longo do processo.

Para enfrentar esses desafios, diversos autores propõem o alinhamento entre BIM-ACV e o conceito de *Level Of Development* (LOD) (Cavalliere et al., 2019; Safari & Azari-Jafari, 2021). O LOD descreve a evolução dos elementos do projeto, desde níveis básicos de definição até detalhamentos completos, conforme as necessidades de cada fase (Cavalliere et al., 2018). Cavalliere et al. (2019) sugerem a associação de diferentes bases de dados a diferentes níveis de LOD, permitindo que as avaliações de impactos ambientais sejam ajustadas conforme o desenvolvimento do projeto. Essa abordagem possibilitaria, em teoria, a realização de ACVs dinâmicas e contínuas ao longo das etapas de design (Prideaux et al., 2024).

Outra tendência envolve a integração de ACV em tempo real com dashboards acoplados ao modelo BIM, que atualizam as estimativas de impacto conforme alterações no projeto. Tais sistemas, como os testados por Forth et al. (2023), utilizam scripts em *Dynamo* (*Revit*) e *Grasshopper* (*Rhino*) para extrair e processar dados automaticamente, alimentando softwares de ACV com retorno visual instantâneo.

3.3 ABORDAGENS PARA INTEGRAÇÃO BIM-ACV

Diante das limitações descritas e da ausência de uma metodologia consolidada para a integração BIM-ACV, a literatura revela que os estudos dedicados a esse objetivo adotam diferentes abordagens. Díaz e Anton (2014) identificaram dois métodos principais. O primeiro consiste em incorporar dados de ACV relacionados à produção de materiais e componentes, abrangendo os impactos ambientais dos módulos A1-A5 diretamente nos objetos BIM. Essa abordagem representa um passo inicial para viabilizar o uso de informações ambientais já nas fases iniciais do projeto. O segundo método foca na avaliação do impacto ambiental do edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida, integrando dados como consumo energético e hídrico. No entanto, essa abordagem ainda carece de uma aplicação consistente, pois demanda grandes volumes de dados e atualizações constantes, mesmo com o uso de tecnologias avançadas, como dispositivos *IoT*.

Safari e Azari-Jafari (2021) classificam as abordagens de integração entre ferramentas BIM e ACV em três categorias. A primeira envolve o mapeamento manual entre a biblioteca BIM local e os bancos de dados de ACV, seguido de cálculos realizados em softwares de ACV ou Excel. A segunda utiliza Interfaces de Programação de Aplicações (APIs) e diferentes softwares para combinar bancos de dados de ACV com dados BIM. Nesse caso, a extração de dados do modelo BIM pode ser feita por meio de *plug-ins* ou formatos padrão, como IFC e gbXML, sendo os dados transferidos para plataformas de ACV para análise. A terceira abordagem baseia-se na criação de uma biblioteca de materiais com parâmetros de ACV diretamente no ambiente BIM, aproveitando a capacidade paramétrica do BIM e a programação para gerar resultados precisos e em tempo real.

Uma quarta abordagem emergente envolve o uso de ferramentas comerciais como Tally, One Click LCA e eToolLCD, que possibilitam a integração semiautomática com modelos BIM para análises ambientais mais

ágeis (Soust-Verdaguer et al., 2017; Forth et al., 2023). Essas ferramentas ainda enfrentam limitações quanto à flexibilidade de dados e padronização, mas já são utilizadas em práticas de projeto alinhadas a certificações ambientais como LEED e BREEAM.

Apesar dos avanços rumo à automatização, nenhum dos estudos que buscaram conectar ferramentas BIM e ACV conseguiu integrar modelos 3D com feedback instantâneo, regras práticas ou simplificação dos parâmetros de entrada (Prideaux et al., 2024). A literatura converge no sentido de que é necessário desenvolver abordagens e ferramentas que permitam uma integração automatizada e eficiente entre modelos BIM e bancos de dados de impactos ambientais.

Nesse contexto, Prideaux et al. (2024) propõem uma abordagem incremental, aplicada ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, como uma avaliação contínua e iterativa para monitorar o desempenho ambiental. Essa abordagem ajusta a granularidade das análises conforme o estágio do projeto, utilizando ACV paramétrica com dados embutidos e geometria 3D para estimar rapidamente quantidades de materiais e fornecer feedback instantâneo por meio do modelo 3D. Além disso, ela permite gerar alternativas de design de forma ágil, tornando-se uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões durante o processo de projeto.

No entanto, uma das principais limitações dessa abordagem é a necessidade de adaptação aos fluxos de trabalho existentes, já que as interfaces e métodos propostos muitas vezes são desconhecidos para os designers, exigindo conhecimentos técnicos adicionais, especialmente em comparação com técnicas de design analógico (Prideaux et al., 2024). Isso resulta em desafios para coordenar o trabalho entre comunidades de prática e integrar um conjunto diversificado de tecnologias digitais (Vite et al., 2021).

3.4 ESPECIALIZAÇÃO E COMPLEXIDADE

A realização de uma ACV detalhada exige um grande volume de dados de entrada sobre o edifício, além de expertise em ACV. Por isso, ter pelo menos um conhecimento básico sobre ACV pode ampliar consideravelmente a capacidade dos designers de conduzir avaliações, interpretar resultados e otimizar decisões (Prideaux et al., 2024). Safari e Azari-Jafari (2021) reforçam a importância de conhecimentos e experiência em materiais de construção, bem como familiaridade com bancos de dados de ACV, para garantir análises precisas e confiáveis.

No entanto, para que as ferramentas de ACV sejam efetivamente aplicadas nas fases iniciais do projeto, é essencial que sejam intuitivas e de fácil uso para não especialistas. Isso inclui a capacidade de selecionar elementos específicos para avaliação, seja para a escolha de materiais ou para a definição de soluções construtivas (Díaz & Anton, 2014). Características como entradas de dados simplificadas, interpretação clara dos resultados, usabilidade adaptada ao fluxo de trabalho de design e alinhamento com as melhores práticas do setor podem tornar essas ferramentas mais acessíveis e eficazes para os profissionais de projeto (Prideaux et al., 2024).

Nesse sentido, esforços recentes têm focado na criação de interfaces gráficas amigáveis e fluxos de trabalho automatizados que auxiliam arquitetos na escolha de materiais com menor impacto ambiental, como proposto por Forth et al. (2023). Além disso, iniciativas como a Model View Definition (MVD) for LCA dentro do IFC têm sido estudadas para apoiar a interoperabilidade sem exigir conhecimento técnico aprofundado em ACV (Pomponi et al., 2018; Soust-Verdaguer et al., 2020).

4 RESULTADOS

Este estudo teve como objetivo investigar os principais desafios associados à estruturação de dados para a integração entre BIM e ACV. A análise revelou três grandes obstáculos que dificultam a efetiva integração dessas ferramentas, os quais são detalhados a seguir:

I) Inconsistência, incompletude e indisponibilidade de dados de ACV.

A qualidade e a confiabilidade dos resultados da ACV dependem diretamente da disponibilidade e da precisão dos dados de entrada. No entanto, observa-se que muitos bancos de dados de ACV apresentam lacunas, seja pela ausência de informações sobre materiais e processos específicos, seja pela falta de regionalização dos dados. Além disso, a inconsistência na coleta e no registro de dados compromete a integridade das análises, limitando a aplicabilidade da ACV em projetos complexos e diversificados.

Essas limitações tornam-se ainda mais críticas quando se busca aplicar a ACV nas fases iniciais do projeto, pois os dados disponíveis não atendem aos níveis de granularidade exigidos pelo processo de design (Forth et al., 2023; Safari & Azari-Jafari, 2021).

II) Falta de padronização de nomenclaturas e formatos de dados que prejudicam a interoperabilidade entre ferramentas BIM e de ACV:

A interoperabilidade entre ferramentas BIM e de ACV é essencial para a integração eficiente de dados. Contudo, a ausência de padrões comuns de nomenclatura e formatos de dados dificulta a transferência e a interpretação de informações entre as plataformas, resultando em processos manuais demorados e propensos a erros. A criação de convenções compartilhadas e a adoção de formatos universais, como o IFC, são apontadas como soluções potenciais, mas ainda enfrentam barreiras para sua implementação em larga escala.

Soluções como o banco de dados DBSS da buildingSMART e ferramentas como One Click LCA têm avançado nessa direção, mas ainda carecem de ampla adoção no setor (One Click LCA, 2024; Lignum, 2024).

III) Natureza complexa e alto grau de incerteza nas etapas de projeto e construção, que podem ocasionar a perda de dados e comprometer a qualidade dos resultados da ACV:

O processo de projeto e construção é inerentemente complexo e dinâmico, caracterizado por um alto grau de incerteza e mudanças frequentes. Essa volatilidade pode levar à perda ou à desatualização de dados, comprometendo a qualidade e a precisão das análises de ACV. Além disso, a falta de sincronização entre as diferentes fases do projeto e a evolução assimétrica dos elementos do edifício dificultam a realização de avaliações contínuas e confiáveis. A literatura aponta que o alinhamento entre o LOD e as exigências de dados para a ACV, bem como o uso de ferramentas de *feedback* em tempo real, são estratégias promissoras para mitigar tais problemas (Cavalliere et al., 2019; Forth et al., 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo sintetizou as principais abordagens e entraves para a integração entre BIM e ACV, destacando seu potencial como ferramenta para promover a sustentabilidade na construção civil. Apesar dos avanços, foram identificados diversos desafios que impedem a plena adoção dessa integração, especialmente no que diz respeito à qualidade e interoperabilidade dos dados, bem como às incertezas inerentes às fases iniciais de projeto. A inconsistência e incompletude dos bancos de dados de ACV, a falta de padronização nas nomenclaturas e a complexidade técnica associada à integração de ferramentas emergem como obstáculos críticos que limitam a eficiência e a confiabilidade das análises de ACV em modelos BIM.

Para superar essas barreiras, torna-se imperativo o desenvolvimento de soluções automatizadas, capazes de garantir a precisão e a consistência dos dados ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Além disso, é essencial que essas soluções sejam acessíveis e de fácil utilização para os profissionais de projeto, permitindo a obtenção de feedbacks instantâneos que orientem decisões mais sustentáveis desde as fases iniciais. A criação de ferramentas intuitivas, aliada à adoção de padrões comuns de nomenclatura e formatos de dados, pode viabilizar a integração BIM-ACV de forma mais eficiente e amplamente aplicável.

Abordagens como o uso de scripts para automação de ACV no ambiente BIM, a aplicação de dashboards interativos e o desenvolvimento de bibliotecas com EPDs incorporadas têm se mostrado promissoras, mas ainda exigem investimentos em capacitação técnica e infraestrutura digital (Soust-Verdaguer et al., 2020; Forth et al., 2023). A disseminação dessas soluções dependerá do envolvimento de diferentes atores da cadeia produtiva, bem como da evolução de regulamentações e certificações ambientais que incorporem a ACV como critério de projeto.

O desenvolvimento de novas metodologias e tecnologias para a integração BIM-ACV não apenas contribuirá para a redução dos impactos ambientais da construção civil, mas também alinhará o setor às metas globais de sustentabilidade, como aquelas estabelecidas no Acordo de Paris e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Futuras pesquisas devem focar na criação de frameworks padronizados, na melhoria da interoperabilidade entre ferramentas e na capacitação dos profissionais para o uso eficaz dessas tecnologias, garantindo que a integração BIM-ACV se torne uma prática consolidada e transformadora na indústria da construção.

REFERÊNCIAS

ALSEHRAWY, Ramy; AMOUDI, Omar; KUMAR, Bimal. Exploitation of BIM in planning & controlling the construction phase onsite carbon emissions: a 6D BIM case study. In: I**NTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE PRODUCTION AND CONSTRUCTION** (IPC 2017), 30 nov.-1 dez. 2017, Perth, Austrália. Anais […]. Perth: IPC, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040:2009. **Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044:2009. **Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

CAVALLIERE, Carmine; DELL'OSSO, Guido Raffaele; PIERUCCI, Alessandra; IANNONE, Francesco. Life Cycle Assessment Data Structure for Building Information Modelling. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 193-204, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.07.149.

CAVALLIERE, Carmine; HABERT, Guillaume; DELL'OSSO, Guido Raffaele; HOLLBERG, Alexander. Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 941–952, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.247.

DIAZ, Joaquín; ANTÓN, Laura Alvarez. Sustainable construction approach through integration of LCA and BIM tools. In: **SIXTH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING**, 2014, Orlando. Anais […] Orlando: [S.I.:s.n.], 2014. p. 455-462. DOI: 10.1061/9780784413616.053.

DINDORF, Ryszard; WOS, Piotr. Challenges of robotic technology in sustainable construction practice. **Sustainability**, v. 16, p. 5150, 2024. DOI:10.3390/su16135150.

FORTH, Stefan; HOLZLEITNER, Franz; HOLZINGER, Andreas; LANG, Walter. **BIM4EarlyLCA: An interactive visualization approach for early design support based on uncertain LCA results using open BIM.** Journal of Building Engineering, [S.I.], v. 79, p. 107462, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107462.

HOSSAIN, Md. Uzzal; SOHAIL, Ammar; NG, S. Thomas. Developing a GHG-based methodological approach to support the sourcing of sustainable construction materials and products. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 145, p. 160–169, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.02.036.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2023**. Paris: IEA, out. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. Acesso em: 3 abr. 2025.

LIGNUM. **BuildingSMART Data Dictionary (BSDD)**. Disponível em: <https://www.lignum.ch/leistungen/projekte/buildingsmart-data-dictionary-bsdd/>. Acesso em: 13 set. 2024.

LIU, Qibo; WANG, Zixin. Green BIM-based study on the green performance of university buildings in northern China. Energy, **Sustainability and Society**, v. 12, art. 12, fev. 2022. DOI: 10.1186/s13705-022-00341-9.

NEFF, Gina; FIORE-SILFVAST, Brittany; DOSSIICK, Carrie. A case study of the failure of digital communication to cross knowledge boundaries in virtual construction. **Information, Communication & Society**, v. 13, n. 4, p. 556–573, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13691181003645970>.

ONE CLICK LCA. **One Click LCA: LCA & EPDs for construction & manufacturing.** 2024. Disponível em: <https://oneclicklca.com/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

POMPONI, Francesco; DE WORL, Catherine; MONCASTER, Alice. **Embodied Carbon in Buildings: Measurement, Management, and Mitigation**. Cham: Springer International Publishing, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72796-7>.

PRIDEAUX, Fabian; ALLACKER, Karen; CRAWFORD, Robert H.; STEPHAN, André. Integrating life cycle assessment into the building design process—a review. Environmental Research: Infrastructure and **Sustainability**, v. 4, 2024. DOI: https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad3572

RADL, Jan; KAISER, Jiri. Benefits of implementation of Common Data Environment (CDE) into construction projects. In: **WMCAUS 2018**, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, v. 471, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/471/2/022021.

ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS. **RICS Sustainability Report 2023**. News & Insights, 30 nov. 2023. Disponível em: <https://www.rics.org/news-insights/rics-sustainability-report-2023>. Acesso em: 3 fev. 2025.

SAFARI, Kaveh; AZARIJAFARI, Hessam. Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: methodological choices and framework development. **Sustainable Cities and Society**, v. 67, p. 102728, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102728>.

SOUST-VERDAGUER, Bernardette.; LLATAS, Carmen; GARCÍA-MARTÍNEZ, Antonio. **Critical review of BIM-based LCA method to buildings.** Energy and Buildings, v. 136, p. 110–120, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009.

SOUST-VERDAGUER, Bernardette; GARCÍA-MARTÍNEZ, Antonio; LLATAS, Carmen; et al. **Implications of using systematic decomposition structures to organize building LCA information: a comparative analysis of national**

standards and guidelines – IEA EBC ANNEX 72. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 588, p. 022008, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/588/2/022008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Status Report for Buildings and Construction 2024-2025: Not just another brick in the wall.** Nairobi/Paris: UNEP; GlobalABC; IEA, mar. 2025. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>. Acesso em: 3 abr. 2025.

VITE, Clara; HORVATH, Anca Simona; NEFF, Gina; MØLLER, Naja Holten. Bringing Human-Centredness to Technologies for Buildings: An agenda for linking new types of data to the challenge of sustainability. In: **CHItaly '21: 14th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter**. Bolzano, Itália, 11-13 jul. 2021. DOI: 10.1145/3464385.3464711.