



Contribuição do BIM para o desenvolvimento da Economia Circular
no ambiente construído – uma revisão sistemática da literatura
*BIM contribution to Circular Economy development in the built environment –
a systematic review*
*Contribución del BIM al desarrollo de la Economía Circular en el ambiente
construido – una revisión sistemática de la literatura*

Recebido em 30/10/2020 Aceito em 09/02/2021

CRUZ, Victor Filipi¹
GÓES, Thiago Montenegro²

¹ Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, DF, Brasil.
victorfilipicruz@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1001-6578

² Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, DF, Brasil.
tgoes@hotmail.com
ORCID: 0000-0002-5745-229X

Resumo

A forma como se produz, mantém e renova o ambiente construído é determinante para a condição de insustentabilidade global vivenciada. Assim, a Economia Circular (EC) surge como uma proposta na busca de aplicação prática dos princípios do desenvolvimento sustentável no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), mas enfrenta muitas barreiras à sua implementação. A Modelagem de Informação da Construção (BIM – do inglês *Building Information Modeling*) é candidata a facilitadora nessa transição, sendo o objetivo deste trabalho apresentar uma visão geral do seu potencial de contribuição e limitações com base em uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), seguida de uma análise temática. Pelos resultados, observa-se que o BIM tem um potencial significativo para contribuir com a EC no ambiente construído, principalmente em suporte a análises circulares desde fases iniciais de projeto, gestão de edifícios como bancos de materiais, adaptabilidade computacional a novos fluxos de trabalho e viabilização de plataformas de integração da cadeia produtiva. Desse modo, a EC pode se beneficiar do BIM enquanto agente integrador da cadeia produtiva e do(s) ciclo(s) de vida do ambiente construído.

Palavras-Chave: Ambiente construído, sustentabilidade, Economia Circular, BIM, gestão da construção.

Abstract

The way the built environment is produced, maintained and renovated nowadays is determinant to the current global unsustainability. In this context, the Circular Economy (CE) emerges as a proposition towards practical applications of the sustainable development principles in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector, but it faces many barriers for its implementation. Building Information Modeling (BIM) is a candidate enabler in this transition, thus the objective of this work is to present an overview of its potential contribution and limitations to it through Systematic Review (SR), followed by a thematic analysis. From the findings, it is observed that BIM have a significant potential to contribute to the CE in the built environment, mainly to support circular analysis since early design phase, manage buildings as material banks, allow new workflows by computational adaptability and enable platforms for supply chain integration. Therefore, the CE can be benefited from BIM as an integrator of the supply chain and the built environment lifecycle(s).



Key-Words: *Built environment, sustainability, Circular Economy, BIM, construction management.*

Resumen

La forma en que se produce, mantiene y renueva el ambiente construido es determinante para la condición de insostenibilidad global que vivimos. Así, la Economía Circular (EC) aparece como una propuesta en busca de la aplicación práctica de los principios de desarrollo sostenible en el sector de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), pero enfrenta muchas barreras en su implementación. El Modelado de Información de la Construcción (BIM – en inglés Building Information Modeling) es candidato a facilitador en esta transición, siendo el objetivo de este trabajo presentar una visión general de su potencial de contribución y limitaciones a partir de una Revisión Sistemática de Literatura (RSL), seguida de un análisis temático. Se observa con los resultados que el BIM tiene un potencial significativo para contribuir a la EC en el ambiente construido, principalmente en soporte de análisis circulares desde las fases iniciales del proyecto, gestión de edificios como bancos de materiales, adaptabilidad computacional a nuevos flujos de trabajo y habilitación de plataformas para la integración de la cadena productiva. De esta manera, la EC puede beneficiarse del BIM como un agente integrador de la cadena productiva y del (de los) ciclo(s) de vida del ambiente construido.

Palabras clave: *Ambiente construido, sustentabilidad, Economía Circular, BIM, gestión de la construcción.*



1. Introdução

Quando o assunto é desenvolvimento econômico com altos custos ambientais e sociais, o modo como se produz, mantém e renova o ambiente construído é um exemplo muito apropriado. Como exemplo, analisando particularmente o consumo global de energia no subsetor de edifícios, esse consumo aumentou 7% entre 2010 e 2018. E termos de emissões de CO₂, esse subsetor foi responsável por 39% do total mundial de emissões relacionadas ao consumo de energia (IEA, 2019). Portanto, uma mudança de curso é necessária para a adequação do modelo de desenvolvimento do setor aos novos desafios globais.

Nesse contexto, em um cenário de discussões crescentes acerca do desenvolvimento sustentável, novos modelos econômicos são necessários para adequação dos setores produtivos aos objetivos globais apresentados pela Agenda 2030 da ONU (ONU, 2015). Isso porque o sistema econômico mundial atual, baseado apenas no crescimento da produção, é marcadamente desigual e uma ameaça aos recursos naturais (SACHS, 2015), sendo premente um desenvolvimento econômico sustentável.

Em resposta à necessidade de novos modelos econômicos que contribuam para tornar o desenvolvimento sustentável uma realidade prática e aplicável, a partir do fim da década de 70 uma nova estrutura conceitual começou a ser aplicada aos sistemas econômicos modernos e processos industriais: a Economia Circular (EC) (EMF, 2013). O conceito é associado a muitos outros conceitos, como a ecologia industrial e a teoria de sistemas, onde está associado à termodinâmica e à economia ecológica, respectivamente (WINANS *et al.*, 2017). Numa acepção mais recente, ela surge como uma combinação de várias escolas de pensamento, como o berço ao berço (*cradle-to-cradle*), a biomimética (*biomimicry*), a economia de performance (*performance economy*), o capitalismo natural (*natural capitalism*) e a ecologia industrial (*industrial ecology*) (EMF, 2013).

Nos últimos anos, o conceito de EC vem ganhando destaque em discussões nos meios científicos e empresariais (HOSSAIN *et al.*, 2020; LEISING *et al.*, 2018). Embora uma abordagem promissora, ainda existem muitas barreiras para sua implementação. Assim, o crescente interesse no tema não pode ser traduzido em uma disposição para implementação pelos setores econômicos, com barreiras classificadas em 4 áreas principais: culturais, legais, de mercado e tecnológicas (KIRCHHERR *et al.*, 2018). Dadas as perspectivas de transformação disruptiva que se apresentam atualmente na área tecnológica, o foco deste trabalho está sobre as barreiras e oportunidades apresentadas pela Modelagem de Informação da Construção - do inglês *Building Information Modeling* (BIM) para contribuir no desenvolvimento da EC no ambiente construído.

Essa proposta justifica-se pela busca de novas abordagens para transformar o ambiente construído de uma fonte de estresse ambiental e social em uma fábrica restaurativa que suporte um mundo mais resiliente (TWILL *et al.*, 2011). Num momento em que mudanças urgentes precisam guiar a humanidade na direção de sua sobrevivência e prosperidade, voltar a atenção para as oportunidades que novas tecnologias oferecem representa uma contribuição muito importante. Nesse sentido, Sachs (2015) coloca que na era do desenvolvimento sustentável mudanças tecnológicas direcionadas serão necessárias para a promoção da sustentabilidade nas atividades humanas, inclusive na construção civil.

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma visão geral do potencial de contribuição e das limitações do BIM para o desenvolvimento da EC no ambiente construído, em benefício do desenvolvimento sustentável no setor.



2. Referencial Teórico

Em 1992, na 2ª Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, houve a convergência das discussões a respeito do desenvolvimento sustentável colocadas em pauta mundial pelo *Brundtland Report* (WCED, 1987). Nessa conferência foi definida a Agenda 21 e foram iniciados os esforços dos países para institucionalizar os princípios de sustentabilidade acordados nas legislações nacionais (HARDING, 2006).

De 1992 aos dias atuais, a discussão em torno do desenvolvimento sustentável deixou de ser uma ideia ecológica marginal para se tornar um movimento amplo e universal, porém isso não se converteu ainda em solução para a insustentabilidade dominante (CARADONNA, 2014). Mesmo com o compromisso pela sustentabilidade reafirmado pelos líderes mundiais na Rio+20 (3ª Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável) em 2012 e a elaboração dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável em 2015, as dificuldades de implementações concretas ainda persistem. Essas dificuldades ainda permanecem possivelmente porque, segundo Sachs (2015), esse é o maior de desafio que a humanidade já enfrentou em sua história. Nesse contexto de desafios, a EC desponta como uma alternativa ao modelo linear vigente (GHISELLINI *et al.*, 2016).

Segundo Sariatli (2017), um dos precursores da EC pode ter sido o economista Kenneth E. Bouding, em sua publicação de 1966 *The Economics of the coming spaceship Earth*, onde apresenta o conceito de economia do astronauta (*Spaceman economy*), no qual o ser humano compreende sua posição em um sistema ecológico cíclico e finito, em contraposição à economia linear, nomeada como a economia do cowboy (*Cowboy economy*), situação na qual se pressupõe reservas naturais de matéria-prima e capacidade natural de assimilação de resíduos ilimitados. No entanto, suas origens também remetem a várias escolas de pensamento, como o Design Regenerativo, a Economia de Desempenho, o Berço-ao-Berço, a Ecologia Industrial e a Biomimética, com aplicações práticas no setor industrial desde o início dos anos 70 (EMF, 2013).

Recentemente vários estudos buscam melhor fundamentar e analisar o conceito de EC (GEISSDOERFER *et al.*, 2017; KIRCHHERR *et al.*, 2017; KORHONEN, *et al.*, 2018). Assim, Geissdoerfer *et al.* (2017) investiga sua relação com o conceito de sustentabilidade e, apesar de não encontrar limites bem definidos, conclui que a EC é uma condição para o desenvolvimento sustentável. Korhonen *et al.* (2018) também coloca a EC como um contribuinte para a sustentabilidade, notadamente ao atrair a comunidade empresarial para objetivos sustentáveis. Todavia, ressalta que há importantes desafios para a completa compreensão dos impactos associados ao novo modelo econômico. Outra importante contribuição é dada por Kirchherr *et al.* (2017), que analisa 114 definições de EC de modo a estabelecer uma fundação conceitual consistente que evite confusões e barreiras ao desenvolvimento da pesquisa nesse campo. Para os autores a EC é um sistema econômico onde o descarte de produtos ao fim da vida útil é evitado por práticas de redução, reúso, reciclagem e recuperação, tanto em processos de consumo como de produção e distribuição. Colocam ainda que esta mudança ocorre em níveis micro (produtos, empresas, consumidores), meso (parques eco-industriais) e macro (cidade, região, nação e além), com foco nos três pilares (econômico, social e ambiental) do desenvolvimento sustentável.

Discussões em torno da adoção da EC no setor de construção e pelo ambiente construído são recentes e vem recebendo muita atenção da comunidade acadêmica e empresarial (HOSSAIN *et al.*, 2020; LEISING *et al.*, 2018). Isso pode ser uma movimentação inicial de mudança em um setor que é o maior consumidor de recursos naturais do planeta (WEF, 2016). Desde modo, conceitos e estruturas metodológicas estão em desenvolvimento (POMPONI e MONCASTER, 2017; HOSSAIN *et al.*, 2020; BENACHIO *et al.*, 2019) para uma implementação que contribua efetivamente para o desenvolvimento sustentável.



No âmbito de negócios, o reporte *Circularity in the built environment: case studies - a compilation of case studies from the CE100* (EMF, 2016) destaca o projeto BAMB – *Buildings as Material Banks*, proposto pelo *British Research Establishment – BRE*. O projeto consistiu em integrar 16 parceiros (dentre instituições acadêmicas e empresariais) de 8 países diferentes para o desenvolvimento de ferramentas que possibilitassem uma transição sistêmica da indústria da construção para a EC, transformando as edificações em bancos de materiais reutilizáveis e reduzindo drasticamente os resíduos gerados ao fim da vida útil da edificação.

Na esfera acadêmica, Munaro *et al.* (2020) colocam que, apesar do aumento da atenção na academia para o tema, as pesquisas ainda são fragmentadas, focadas em barreiras e em apenas uma fase do ciclo de vida, geralmente a de fim de vida útil. Pomponi e Moncaster (2017) contribuem conceituando “edifícios circulares” como aqueles que se utilizam de práticas circulares em todas as fases do ciclo de vida, do projeto ao fim de vida útil. Além disso, analisam a aplicação da EC no ambiente construído em escalas micro (materiais e componentes), meso (edificações) e macro (cidades), com especial atenção à mesoescala.

A respeito de quais fases considerar no ciclo de vida, Benachio *et al.* (2020) propõem que sejam cinco: projeto, manufatura, construção, operação e fim de vida útil. Além disso, os autores propõem uma definição para a EC para o ambiente construído, estabelecendo que seria aquela em que os materiais são mantidos em utilização o maior tempo possível em um ciclo fechado, sem descarte, ao longo de todas as fases do ciclo de vida de uma edificação.

Leising *et al.* (2018) também apresentam uma contribuição à definição de EC no ambiente construído, estabelecendo que seria uma abordagem que otimiza a vida útil das edificações, assim como considera a fase de fim de vida no processo de projeto, além de usar novos modelos de propriedade em que os edifícios atuam repositórios temporários de materiais, os chamados “bancos de materiais”.

Observa-se que a consideração de todo o ciclo de vida, incluindo a fase de fim de vida útil, é uma parte fundamental da discussão acerca da implementação da EC no ambiente construído. Esse novo contexto requer, de maneira transparente, mais colaboração e comunicação entre os atores da cadeia produtiva (HOSSAIN *et al.*, 2020), de modo que, embora a EC tenha recebido muita atenção nos últimos anos, o conhecimento e as ferramentas para tal ainda estão por ser desenvolvidas, principalmente no setor da construção civil (LEISING *et al.*, 2018).

Porém, no cenário da quarta revolução industrial, tecnologias emergentes e inovações de base ampla estão difundindo muito mais rápido e de forma mais abrangente que as revoluções industriais precedentes (SCHWAB, 2016). Nos setores produtivos ligados à produção, manutenção e renovação do ambiente construído, essa difusão está se verificando predominantemente pela disseminação da Modelagem de Informação da Construção (BIM) (ALALOUL *et al.*, 2020).

O BIM não se trata apenas de uma tecnologia digital, mas também de um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção, que por sua vez são constituídos por componentes digitais de construção definidos por regras paramétricas e dados que descrevem como se comportam de forma integrada e não redundante. (SACKS *et al.*, 2018). As raízes do BIM remontam à década de 70, com a proposição dos *Building Description Systems* (BDS) por Eastman (ARYANI *et al.* 2014). Desde então, o conceito e as tecnologias que o suportam foram se desenvolvendo, tendo sua adoção pela indústria mais amplamente difundida a partir dos anos 2000 (JUNG e LEE, 2015), posicionando-se como um dos mais promissores desenvolvimentos nos setores de arquitetura, engenharia e construção (AEC) (AZHAR, 2011).

Em favor da EC aplicada ao ambiente construído, o BIM promove maior transparência, automação de processos e capacidade de colaboração, melhorando as tomadas de decisão e evitando erros de projeto que causam desperdícios (AKBARIH *et al.*, 2020). Entretanto, os atuais sistemas de Modelagem de Informação da Construção ainda precisam ser aprimorados para contribuição com a EC, no sentido de colaborarem na



integração das cadeias produtivas e na redução de geração de resíduos (MUNARO *et al.*, 2020).

3. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho é a revisão sistemática de literatura (RSL) juntamente com análise temática para organização e discussão dos resultados. A RSL teve o objetivo de encontrar evidências de pesquisa sobre seu potencial de contribuição para o desenvolvimento da EC no ambiente construído. Nesse sentido, a questão que baseou a definição do protocolo de pesquisa foi assim expressa: “Quais as possibilidades de contribuição e limitações do BIM para o desenvolvimento da EC no ambiente construído?”. Com a questão definida, o protocolo foi elaborado, o qual está resumido na Tabela 1.

Considerou-se aqui uma divisão da RSL em 3 fases principais: planejamento, execução e análise dos resultados (BIOLCHINI *et al.*, 2007). Na fase de planejamento o objetivo da revisão foi definido, assim como o protocolo, que por sua vez partiu de uma questão bem delimitada. Na fase de execução, as buscas foram realizadas para identificação inicial dos estudos, com posterior seleção daqueles que seguiram para a última etapa, por meio da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Na terceira e última etapa foi feita a análise dos resultados, onde os dados definidos no protocolo foram extraídos, sintetizados e analisados.

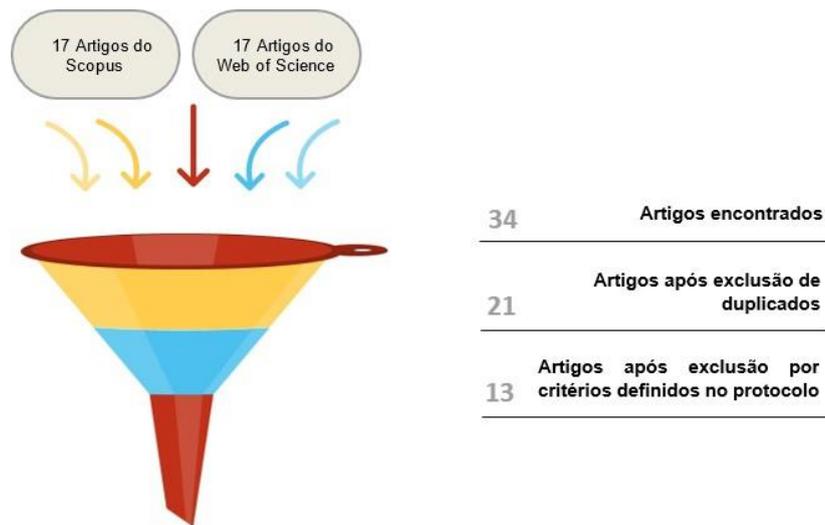
Tabela 1. Resumo do protocolo de RSL utilizado.

Questão da revisão	
Quais as limitações e possibilidades de contribuição do BIM para o desenvolvimento da EC no ambiente construído?	
Bases utilizadas	
Scopus	Web of Science
Termos de busca	Sintaxe utilizada nos motores de busca
Building Information Modelling Building Information Modeling CE Circular Economy Circular*	(("building information modeling" OR "building information modelling") AND ("circular economy" OR CE OR circular*))
Filtros utilizados nos motores de busca	
Língua: Inglês. Período de tempo: não definido.	Tipos de documentos: artigos primários publicados em periódicos científicos.
Critérios de inclusão e exclusão	
Inclusão I1. Artigos relacionados ao BIM aplicado a estratégias da EC.	
Exclusão E1. Artigos não relacionados ao BIM ou à EC. E2. Artigos relacionados a estratégias da EC mas não relacionados ao BIM. E3. Artigos relacionados ao BIM mas relacionados a estratégias da EC. E4. Artigos indisponíveis em formato digital.	
Critérios de análise dos artigos selecionados	
Capacidades BIM para a EC	Limitações atuais BIM para a EC

Fonte: Autores (2020)

Na etapa de execução foi realizada a busca dos artigos nas bases selecionadas. O retorno da busca é ilustrado na Figura 1, assim como a seleção final dos artigos após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Foram encontrados um total de 34 artigos, 17 obtidos no Scopus e 17 no Web of Science. Após a seleção, restaram 13 artigos.

Figura 1. Resumo da busca e seleção de artigos



Fonte: Autores (2020)

Os artigos selecionados foram lidos na íntegra para extração das informações conforme os critérios de análise definidos no protocolo. Após a extração das informações, realizaram-se a análise temática dos resultados, com caráter predominantemente qualitativo, que basearam tanto a discussão crítica em torno do objetivo almejado, como a identificação de lacunas para trabalhos futuros.

4. Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta uma relação dos títulos e os autores de todos os artigos analisados, com seus respectivos autores.

Tabela 2. Títulos e autores dos artigos selecionados.

ID	Título	Autores
1	BIM data model requirements for asset monitoring and the circular economy.	(DELGADO; OYEDELE, 2020)
2	A BIM-Based Framework and Databank for Reusing Load-Bearing Structural Elements	(BERTIN <i>et al.</i> , 2020)
3	Development of a BIM-Based Web Tool as a Material and Component Bank for a Sustainable Construction Industry.	(JAYASINGHE e WALDMANN, 2020)
4	A material and component bank to facilitate material recycling and component reuse for a sustainable construction: concept and preliminary study.	(CAI e WALDMANN, 2019)
5	Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS).	(AKINADE e OYEDELE, 2019)
6	Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy.	(AKANBI <i>et al.</i> , 2019)
7	A BIM-based PSS Approach for the Management of Maintenance Operations of Building Equipment.	(FARGNOLI <i>et al.</i> , 2019)

8	Developing a Methodology for Integration of Whole Life Costs into BIM Processes to Assist Design Decision Making.	(ZANNI <i>et al.</i> , 2019)
9	Characterising existing buildings as material banks (E-BAMB) to enable component reuse.	(ROSE; STEGEMANN, 2018)
10	Strategies for Applying the Circular Economy to Prefabricated Buildings.	(MINUNNO <i>et al.</i> , 2018)
11	Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator.	(AKANBI <i>et al.</i> , 2018)
12	Optimization of Design and Management of a Hydroponic Greenhouse by Using BIM Application Software.	(CUMO <i>et al.</i> , 2020)
13	Lean Deconstruction Approach for Buildings Demolition Processes using BIM	(MARZOUK <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: Autores (2020)

Após a análise temática realizada pelos autores os itens de capacidade e limitações identificados tiveram sua ocorrência mapeada com relação a todos os artigos e foram classificados em 8 eixos temáticos, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Capacidades e limitações do BIM para contribuir com a EC no ambiente construído.

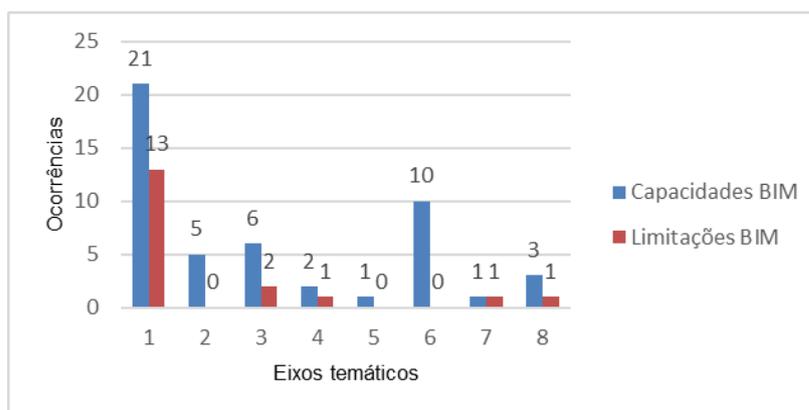
Nº	Item de capacidade/limitação encontrado	ID do artigo													Ocorrências
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Capacidades															
1	Fomento à criação de modelos digitais de monitoramento de desempenho do ambiente construído.	X													1
2	Fomento ao surgimento de plataformas de integração da cadeia produtiva do ambiente construído.				X	X					X			X	4
3	Apoio à identificação, gestão e a rastreabilidade de dados de materiais e componentes necessários à implementação de edifícios como bancos de materiais.		X	X	X					X	X				5
4	Apoio a processos de construção e desconstrução com elementos pré-fabricados.										X				1
5	Apoio a métodos <i>lean</i> de construção e desconstrução.													X	1
6	Apoio para integração de análises de ciclo de vida aos modelos digitais das edificações..		X		X								X		3
7	Recursos para integração das informações dos modelos digitais de construção com sistemas online.			X										X	2
8	Potencial para melhorar a integração de análises circulares ao processo de projeto.		X	X	X	X	X		X		X	X	X		9
9	Potencial de apoio a decisões com foco em desconstrutibilidade, tanto na fase de projeto como no fim de vida útil do ambiente construído.		X	X	X	X	X				X	X		X	8
10	Apoio a estimativas de custos de ciclo de vida desde as fases iniciais do projeto.								X						1
11	Apoio a modelos de negócio baseados em sistemas de produto-serviço, ao possibilitar um fluxo bem definido e automatizado de informação, evitando erros e desperdícios.							X							1
12	Recursos para extensão de especificações de modelos digitais de padrão aberto (como o IFC) para atender os princípios da EC.	X													1
13	Recursos para ampliação de funcionalidades das plataformas BIM para a EC mediante extensões de via API (<i>Application Programming Interface</i>) ou programação visual (VPL's)		X	X		X	X					X	X		6
14	Recursos para criação de parâmetros de informação customizados para a EC nas plataformas BIM.			X				X						X	3



funcionalidades em plataformas BIM com integração de fluxos de trabalho orientados a essa sinergia, em benefício do desenvolvimento circular do ambiente construído. Fechando os destaques, tem-se a capacidade nº 5, sugerindo que o BIM não pode ser tratado como uma solução para otimizações de nicho, em etapas específicas do ciclo de vida, mas deve ser aproveitado para o desenvolvimento de soluções integrativas de toda a cadeia produtiva, as quais são centrais para a minimização de resíduos de construção e demolição (DAINTY e BROOKE, 2004).

Em se tratando das limitações, há um número alto de itens identificados, com 13 no total, aparecendo em 5 eixos. Porém, houve apenas 18 ocorrências, com apenas 3 itens apresentando mais de uma ocorrência. O item de maior destaque foi o de nº 6, abordando o problema da deficiência dos programas BIM atuais em funcionalidades nativas para integrar análises de fim de vida útil do ambiente construído ao processo de projeto e construção. Ressalta-se que isso pode afetar a disseminação massiva das práticas circulares em conjunto com o BIM, considerando que este último já encontra dificuldades de massificação dada a curva de aprendizado ainda muito acentuada (AHMED, 2018). Nesse sentido, o uso aprimorado com algoritmos de programação personalizados pode oferecer mais uma barreira a ser transposta, assim como mais uma justificativa para a manutenção do status quo. Essa curva de aprendizado acentuada e ausência ou deficiência de habilidades BIM em muitos dos agentes envolvidos na cadeia produtiva estão inclusive relacionadas aos outros dois itens de destaque, os de nº 5 e 13, colocando em risco não só a qualidade da base de dados para as análises de circularidade (uma vez que os modelos BIM ainda necessitam de muito esforço manual e especializado), mas também a capacidade de integração de toda a cadeia, caso apenas uma parcela de especialistas consiga ter participação ativa nos novos fluxos de trabalho que surgirão. Desta forma, o BIM deve ter um papel muito efetivo como facilitador, num contexto onde a implementação da EC, por questionar e desafiar práticas muito arraigadas em um setor notadamente tradicional, já precisará enfrentar tantos outros desafios (HOSSAIN *et al.*, 2020) que fogem ao escopo deste trabalho.

Analisando do ponto de vista dos eixos temáticos (Figura 2) o eixo com maior representatividade, tanto em contribuições como em limitações identificadas, é o Eixo 1 – Suporte a análises circulares integradas a modelos digitais. Isso demonstra a relevância dos campos de investigação que esse eixo representa, os quais buscam a integração do desenvolvimento de projetos e planejamento da construção/desconstrução com análises circulares, como a de ciclo de vida, de desempenho operacional, de custo de ciclo de vida e de desempenho em fim de vida útil. Nesse mesmo eixo, os desafios são muitos, tendo sido encontrado 13 ocorrências de limitações nesta análise, as quais vão desde problemas de interoperabilidade até aos impedimentos relacionados às formas de contratação focadas no curto prazo para desenvolvimento de empreendimentos de construção.

Figura 2. Ocorrências totais de capacidades e limitações BIM identificadas em cada eixo temático.

Fonte: Autores (2020)

Outro eixo com destaque foi o Eixo 6 – Flexibilidade para expansão de recursos computacionais. Nesse eixo apenas foram identificadas contribuições, sem nenhuma limitação. Desta forma, isso pode representar uma contrapartida aos problemas de interoperabilidade e de restrição das funcionalidades ainda persistentes em plataformas BIM nativas. Porém, enquanto essa expansão de recursos computacionais depender de conhecimentos muito especializados para ocorrer, tem-se o risco, como já mencionado, de baixa velocidade de disseminação de boas práticas de integração entre sistemas necessárias aos objetivos da EC. Mas esse cenário já vem melhorando, por exemplo com a associação de aplicativos de programação visual a plataformas BIM, como o Dynamo®.

Com 5 e 6 ocorrências respectivamente, os eixos 2 e 3 completam o grupo dos 4 eixos de maior destaque, dos 8 considerados. Esses dois eixos são muito relacionados já que o Eixo 2 – Gestão de informação de bancos de materiais – é considerado uma solução chave para a gestão da cadeia produtiva do ambiente construído (CAI e WALDMANN, 2019) e o Eixo 3 – Suporte à integração da cadeia produtiva – diz respeito às possibilidades que o BIM oferece para a integração dessa cadeia. De fato, em vários trabalhos (BERTIN *et al.*, 2020; JAYASINGHE e WALDMANN, 2020; CAI e WALDMANN, 2019) os bancos de materiais aparecem como elementos centrais de convergência de vários atores, ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

Os 4 demais eixos temáticos, apesar de menos expressivos nos resultados, merecem ter sua importância considerada. O Eixo 4 – Suporte a sistemas e métodos de construção e desconstrução otimizados, em um de seus itens de “Capacidade BIM” apresenta a potencialização que a modelagem de informação oferece para métodos *lean* de construção e desconstrução, o que é vital para a redução de desperdício na indústria da construção e ambiente construído. Adicionalmente, ressalta-se a falta de parâmetros em padrões abertos IFC – do inglês *Industry Foundation Classes* - para uso em modelos digitais de desconstrução. O Eixo 5 – Apoio a modelos de negócio circulares – apresenta o BIM como um facilitador para novos modelos de negócio baseados em sistemas produto-serviço, onde a posse é substituída pelo uso numa prestação de serviço de qualidade otimizada por fluxos de trabalho baseados em modelos digitais, como exemplificado por Fargnoli *et al.* (2019). No Eixo 7 – Suporte à digitalização do ambiente construído – é contemplada a contribuição crucial do BIM e de tecnologias associadas como o *scan-to-BIM* para a digitalização do ambiente construído existente, fator necessário para a mais rápida viabilização de bancos de materiais de edificações que estão chegando ao fim da vida útil. Por fim, o Eixo 8 – Suporte a monitoramento dinâmico de desempenho - apresenta a questão do suporte do BIM à gestão de informação de desempenho do ambiente construído em uso e operação, com integração a sistemas dinâmicos de geração dados para otimização desta fase que tem a maior duração no ciclo de



vida. Essa grande duração, entretanto, dificulta a análise de riscos e custos de manutenção desses sistemas informacionais a longo prazo, o que representa uma limitação importante.

Considera-se, finalmente, que o BIM possui um grande potencial para apoiar a implementação da EC no ambiente construído, especialmente por sua capacidade de suportar, de maneira integrativa, iniciativas circulares essenciais por sua vez também integrativas e sistêmicas, como é o caso dos bancos de materiais de edifícios. Nesse caminho, os desafios se apresentam igualmente amplos, exigindo soluções não puramente técnicas e tecnológicas, mas também considerando aspectos sociais, cognitivos e culturais dos agentes envolvidos, pois trata-se não apenas de mudanças de objetivos, mas principalmente de novas maneiras de colaboração e integração entre os agentes da cadeia produtiva do ambiente construído.

5. Conclusões

Pelos resultados obtidos, considera-se que o objetivo do trabalho foi atingido, com a apresentação da visão geral do potencial de contribuição e das limitações do BIM para o desenvolvimento da EC no ambiente construído. Importante ressaltar, porém, que apenas 13 artigos se mostraram aderentes ao tema pelas *strings* utilizadas na busca, o que demonstra que essa área de pesquisa ainda está em seu início, pelo menos tomando por base as palavras-chave consideradas.

A discussão do potencial do BIM para a transição circular pôde ser realizada com a identificação de suas principais capacidades e limitações nesse âmbito. Dentre as capacidades, destacam-se aquelas relacionadas ao suporte oferecido pelo BIM às análises circulares, à adaptabilidade computacional para atender aos novos fluxos de trabalho exigidos pela EC, à gestão de bancos de materiais de edifícios e à viabilização de plataformas de integração da cadeia produtiva do ambiente construído.

Sobre as limitações, merecem atenção aquelas relacionadas ao suporte às análises circulares, pois problemas de interoperabilidade ainda são uma realidade incômoda que pode ameaçar a efetivação do grande potencial do BIM nesse campo. Além disso, limitações associadas à qualidade dos modelos digitais nos quais se baseiam as análises circulares são importantes, problema também relacionado com as limitações de capacitação dos profissionais em processos BIM, o que extrapola o domínio técnico e tecnológico e entra no educacional e no cultural, que estão além do escopo deste trabalho.

Numa visão geral, parece haver ótimas oportunidades para o BIM contribuir para o desenvolvimento da EC no ambiente construído. Para tal, contudo, ele será muito exigido e testado no papel integrador a que se propõe, além de incorporar a fase de fim de vida útil em sua rota de desenvolvimento, para atuar efetivamente como plataforma de gestão da cadeia produtiva e de ciclo(s) de vida do ambiente construído.

Como sugestão para trabalhos futuros, serão importantes investigações sobre ferramentas e funcionalidades BIM para análises de circularidade na fase de projeto, assim como sua interoperabilidade em fluxos de trabalho explorando outras plataformas de modelagem além do Autodesk Revit®. Além disso, pesquisas sobre contribuições das VPL's para a expansão das funcionalidades BIM para projeto, construção e operação circulares, podem ter um papel relevante na disseminação descentralizada de soluções pelos profissionais que trabalham com modelos e processos BIM. Ainda, sugere-se que a temática deste trabalho seja analisada especificamente para o cenário brasileiro, na busca por entendimento sobre o que é viável a curto, médio e longo prazo no país.

6. Referências



AHMED, S. **Barriers to Implementation of Building Information Modeling (BIM) to the Construction Industry: A Review**. *Journal of Civil Engineering and Construction*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 107, 2018. <https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107>

AKANBI, L. A. et al. **Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator**. *Resources, Conservation and Recycling*, [S. l.], v. 129, n. November, p. 175–186, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>

AKANBI, L. A. et al. **Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy**. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, [S. l.], v. 223, p. 386–396, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.172>

AKBARIEH, A. et al. **BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review**. *Sustainability (Switzerland)*, [S. l.], v. 12, n. 7, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12072670>

AKINADE, O.; OYEDELE, Lukumon O. **Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS)**. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, [S. l.], v. 229, p. 863–873, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232>

ALALOUL, W. S. et al. **Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders**. *Ain Shams Engineering Journal*, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 225–230, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>

ARYANI, A. L.; BRAHIM, J.; FATHI, M. S. **The development of building information modeling (BIM) definition**. *Applied Mechanics and Materials*, [S. l.], v. 567, n. June, p. 625–630, 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.567.625>

AZHAR, Salman. **Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 241–252, 2011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

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*, [S. l.], v. 260, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>

BERTIN, I. et al. **A BIM-based framework and databank for reusing load-bearing structural elements**. *Sustainability (Switzerland)*, [S. l.], v. 12, n. 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/SU12083147>

CAI, G.; WALDMANN, D. **A material and component bank to facilitate material recycling and component reuse for a sustainable construction: concept and preliminary study**. *Clean Technologies and Environmental Policy*, [S. l.], v. 21, n. 10, p. 2015–2032, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01758-1>

CARADONNA, J. L. **Sustainability: A History**. Nova York: Oxford University Press, 2014. 331 p.

CUMO, F. et al. **Optimization of design and management of a hydroponic greenhouse by using BIM application software**. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 157–163, 2020. <https://doi.org/10.18280/ijdsdp.150205>

DAINTY, A. R. J.; BROOKE, R. J. **Towards improved construction waste minimisation: a need for**



improved supply chain integration? *Structural Survey*, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 20–29, 2004. <https://doi.org/10.1108/02630800410533285>

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **Circularity in the built environment: case studies a compilation of case studies from the CE100.** [S. l.]: Ellen MacArthur Foundation, 2016. 72p. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Built-Env-Co.Project.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **Towards the Circular Economy: Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition.** [S.l.:s.n.], 2013. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>. Acesso em: 14 fev. 2020.

FARGNOLI, M. et al. **A BIM-based PSS Approach for the Management of Maintenance Operations of Building Equipment.** *BUILDINGS*, [S. l.], v. 9, n. 6, 2019. <https://doi.org/10.3390/buildings9060139>

GEISSDOERFER, M. et al. **The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 143, p. 757–768, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. **A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems.** *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 114, p. 11–32, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

HARDING, R. **Ecologically sustainable development: Origins, implementation and challenges.** *Desalination*, [S. l.], v. 187, n. 1–3, p. 229–239, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.082>

HOSSAIN, Md U. et al. **Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S. l.], v. 130, n. June, p. 109948, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector.** [S. l.]: United Nations Environment Programme, 2019. 41p. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30950/2019GSR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 abr. 2020.

JAYASINGHE, L. B.; WALDMANN, Daniele. **Development of a BIM-Based Web Tool as a Material and Component Bank for a Sustainable Construction Industry.** *SUSTAINABILITY*, [S. l.], v. 12, n. 5, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12051766>

JUNG, W.; LEE, G. **The Status of BIM Adoption on Six Continents.** *International Journal of Civil, Structural, Construction and Architectural Engineering*, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 406–410, 2015. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1100430>

KIRCHHERR, J. et al. **Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU).** *Ecological Economics*, [S. l.], v. 150, n. April, p. 264–272, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. **Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions.** *Resources, Conservation and Recycling*, [S. l.], v. 127, n. September, p. 221–232, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>



KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. **Circular Economy: The Concept and its Limitations.** *Ecological Economics*, [S. l.], v. 143, p. 37–46, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

LEISING, E.; QUIST, J.; BOCKEN, N. **Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool.** *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, [S. l.], v. 176, p. 976–989, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.010>

MARZOUK, M.; ELMARAGHY, A.; VOORDIJK, H. **Lean deconstruction approach for buildings demolition processes using BIM.** *Lean Construction Journal*, [S. l.], p. 147–173, 2019. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85078631338&partnerID=40&md5=bd1353828d22a326815d8780b52225b6>

MINUNNO, R. et al. **Strategies for applying the circular economy to prefabricated buildings.** *Buildings*, [S. l.], v. 8, n. 9, 2018. <https://doi.org/10.3390/buildings8090125>

MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F.; BRAGANCA, L. **Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment.** *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, [S. l.], v. 260, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121134>

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.** [S. l.: s. n.], 2015. 41 p. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>. Acesso em: 6 abr. 2020.

ROSE, C. M.; STEGEMANN, J. A. **Characterising existing buildings as material banks (E-BAMB) to enable component reuse.** *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, [S. l.], v. 172, n. 3, p. 129–140, 2018. <https://doi.org/10.1680/jensu.17.00074>

SACHS, J. D. **The Age of Sustainable Development.** Nova York: Columbia University Press, 2015. 543 p.

SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers.** 3ª. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. 659 p.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution.** 1ª. ed. [S. l.]: World Economic Forum, 2016. 172 p.

TWILL, J.; BATKER, D.; COWAN, S.; WRIGHT CHAPPELL, T. **The Economics of Change: Catalyzing the Investment Shift Toward a Restorative Built Environment.** Tacoma: Earth Economics, 2011. 50 p. Disponível em: <http://www.cec.org/islandora-gb/fr/islandora/object/islandora%3A1028>. Acesso em: 19 jul. 2020.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H. **The history and current applications of the circular economy concept.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S. l.], v. 68, p. 825–833, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>

ZANNI, Mariangela et al. **Developing a methodology for integration of whole life costs into BIM processes to assist design decision making.** *Buildings*, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 1–21, 2019. <https://doi.org/10.3390/buildings9050114>

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future.**



Oxford: Oxford University Press, 1987. Disponível em: <https://www.aren.admin.ch/aren/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un-milestones-in-sustainable-development/1987-brundtland-report.html>. Acesso em: 10 mar. 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology**. [S.l.]: World Economic Forum, 2016. 63 p. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology>. Acesso em: 11 mar. 2020.

Victor Filipi Cruz

Atualmente sou sócio-diretor da Quantificar, que tem foco otimizar economicamente melhores empreendimentos de construção mediante serviços de base tecnológica digital, especialmente com o BIM. Durante a graduação em Engenharia Civil me engajei com o Movimento Empresa Júnior e estagiei num escritório pioneiro em projetos de sistemas prediais em BIM em Goiânia. Após a graduação trabalhei na coordenação de alguns projetos de pequeno porte e decidi dedicar um semestre para estudos e novos aprendizados em Londres, onde me interessei e aprendi mais sobre economia circular e transformação digital para o ambiente construído. Ao retornar ao Brasil, trabalhei durante quase um ano com modelagem BIM em um projeto de renovação do aeroporto de São Francisco, EUA. Os aprendizados decorrentes dessas experiências, unidos a um interesse por ajudar a viabilizar economicamente produtos imobiliários e de construção melhores e mais sustentáveis, me levaram em 2019 à Quantificar e ao Reabilita.

Contribuição de coautoria: fundamentação teórico-conceitual e problematização; pesquisa de dados e análise estatística; elaboração de figuras e tabelas; Fotos; elaboração e redação do texto; seleção das referências bibliográficas.

Thiago Montenegro Góes.

Arquiteto e Urbanista pela Universidade Federal de Santa Catarina (2011) e mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (2018). Atualmente é doutorando em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília. Possui uma especialização em Arquitetura, Construção e Gestão da Edificação Sustentável pela AVM Faculdades Integradas (2016) e em Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística pela Universidade de Brasília (2017). Realiza em pesquisas de sustentabilidade da edificação, eficiência energética, conforto ambiental e ferramentas computacionais. Possui experiência docente na graduação nos cursos de Arquitetura e Urbanismo no UniProjeção (2018-2019) e Universidade de Brasília (2019-2020), na pós-graduação no curso de Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística pela Universidade de Brasília (2019-2020), assim como cursos de simulação computacional do ambiente construído. Também possui experiência profissional em consultorias e coordenação de projetos, como no projeto LabZero da parceria da UnB e do Procel.

Contribuição de coautoria: fundamentação teórico-conceitual e problematização; revisão do texto

Como Citar: CRUZ, Victor Filipi; GÓES, Thiago Montenegro. Contribuição do BIM para o desenvolvimento da Economia Circular no ambiente construído – uma revisão sistemática da literatura. *Revista Paranoá*. n.30, jan/jun 2021. DOI:10.18830/issn.1679-0944.n30.2021.01

Editora responsável: Carolina Pescatori



Licensed under a Creative Commons Attribution International License.