XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Metodologia BIM aplicada à gestão de RCD: uma revisão sistemática

BIM methodology applied to CDW management: a systematic review

Eduardo José Melo Lins
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | eduardo.jlins@ufpe.br
Rachel Perez Palha
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | rachel.palha@ufpe.br
Maria do Carmo Martins Sobral
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | maria.msobral@ufpe.br

Resumo

Embora a AECO seja importante para a economia, ela é responsável pela produção de relevante quantidade de RCD, que poderá ser reduzida com o uso do BIM. Portanto, a ineficiência da gestão dos resíduos pela AECO precisa ser solucionada. O aumento do uso do BIM pela AECO tem revelado potencial para o correto gerenciamento dos RCD. Ademais, a dispersão do conhecimento acadêmico sobre o BIM aplicado à gestão dos RCD é contida por essa revisão sistemática. Através da WoS foram selecionados 18 estudos do BIM aplicado à gestão de RCD. Os resultados revelam a efetiva viabilidade do BIM para gestão dos RCD no Brasil.

Palavras-chave: Metodologia BIM. Gestão Ambiental. Resíduos de Construção e Demolição.

Abstract

Although the AECO is important for the economy, it is responsible for the production of a relevant amount of RCD, which can be reduced with the use of BIM. Therefore, the inefficiency of waste management by AECO needs to be addressed. The increased use of BIM by AECO has revealed potential for the correct management of RCD. Furthermore, the dispersion of academic knowledge about BIM applied to CDW management is contained by this systematic review. Through WoS, 18 BIM studies applied to CDW management were selected. The results reveal the effective viability of BIM for managing CDWs in Brazil.

Keywords: BIM Methodology. Environmental Management. Construction and Demolition Waste.

LINS, E. J. M. .; PALHA, R. P.; SOBRAL, M. do C. M. Metodologia BIM aplicada à gestão de RCD: uma revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2201

INTRODUÇÃO

A indústria da arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO) é essencial para materializar e operar o ambiente construído, no entanto é uma das principais responsáveis pela poluição do meio ambiente, consumo de energia, uso de recursos naturais, emissões de gases de efeito estufa e geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em escala global [1][2]. Cerca de 35% dos resíduos sólidos produzidos no mundo são gerados pela AECO, dos quais boa parte são destinados em locais não controlados e com manutenção inadequada ou inexistente, resultado da ausência ou ineficiência na gestão dos RCD [3].

Nos últimos anos, os profissionais da AECO têm encontrado nas tecnologias de informação ferramentas para promoção da eficiência da gestão dos RCD, as quais se revelam como ponto chave na resolução de problemas da gestão de resíduos [4], notadamente as aplicações baseadas em *Building Information Modeling* (BIM). Embora incipientes, o uso das tecnologias de informação para gestão de RCD está crescendo rapidamente em todo o mundo, tendo em vista serem mais precisas e eficientes quando comparadas com as ferramentas de gestão tradicionais [4].

O BIM corresponde a um conjunto de políticas, processos e tecnologias que interagem [5], promovendo uma metodologia baseada em tecnologia da informação para gestão de projetos de construção e dados em formato digital ao longo do ciclo de vida do edifício, iniciando pelo projeto, passando pela construção e operação até sua desconstrução [6].

Frente aos problemas de gestão dos RCD na AECO brasileira, aos potenciais benefícios oportunizados pelo uso da metodologia BIM para o gerenciamento de resíduos e a dispersão do conhecimento acadêmico sobre a gestão dos RCD associada ao BIM [7], o presente estudo de revisão sistemática objetivou examinar as pesquisas que abordaram metodologias de gestão de RCD baseadas em *Building Information Modeling*, a exemplo da estimativa de quantidades e custo de manejo, e ainda identificar as soluções para gestão de resíduos adequadas à AECO do Brasil.

GESTÃO DE RCD E BIM

O aumento de atividade da indústria da AECO brasileira, após o controle da pandemia do coronavírus, exigirá uma atenção especial à Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (GRCD), em especial das obras de construção e *retrofit* executadas por empresas construtoras médias e pequenas, as quais em regra negligenciam ou desconhecem os aspectos ambientais envolvidos.

Neste contexto, é importante destacar que o gerador, é desafiado a promover o desenvolvimento de projetos com baixo potencial de geração de resíduos e à elaborar, implementar e prestar contas ao final da execução da obra dos resíduos estimados no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) [8], o qual deve estar atrelado à realidade do empreendimento e conter a previsão de quantidades dos RCD, e os recursos necessários ao acondicionamento, transporte e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos.

Diversas instituições públicas dos Estados Unidos da América (USA) e da União Europeia (EU), contratantes de projetos de engenharia, exigem que os produtos sejam entregues com base no padrão BIM, conduta que vem se expandindo em todo o mundo [9]. No contexto brasileiro, o Governo Federal editou o Decreto nº 9.983/2019 [10] - BIM *Mandate*, o qual dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil. Tal norma foi instituída com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento e a difusão do BIM no país.

Portanto, torna-se oportuno sistematizar e condensar o conhecimento científico já produzido a respeito das tecnologias de informação de uso aberto e público para a gestão de obras de construção civil executadas por empreendedores e construtores de quaisquer porte e especialidade, em particular através da utilização do BIM, cujos fundamentos e aplicação tem sido mundialmente disseminado.

A utilização da metodologia BIM para a previsão e gestão de RCD nos canteiros de obras é incipiente no Brasil [11]. O autor [11] ainda destaca que o desenvolvimento de aplicação especializada através da metodologia BIM implica em importante e efetivo instrumento para a gestão da construção civil, a qual pode auxiliar na diminuição da geração de resíduos e no aumento do uso de materiais reciclados derivados de obras de construção, escavação e demolição.

METODOLOGIA

O desenvolvimento desta revisão sistemática foi baseado nas diretrizes do PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, observadas as atualizações contidas no PRISMA 2020 *Statement*. O caminho metodológico percorrido implicou nas seguintes etapas [12] [13]: (1). Formulação da pergunta de pesquisa; (2). Produção e registro do protocolo de investigação; (3). Definição dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos; (4). Identificação das pesquisas; (5). Seleção dos estudos; (6). Avaliação da qualidade dos estudos; (7). Extração dos dados; (8). Síntese dos dados (metanálise) e avaliação de sua qualidade; (9). Redação e publicação dos resultados. Desta forma, os artigos selecionados foram encontrados na base de dados *Web of Science* (WoS). A estratégia de busca para recuperar as publicações relacionadas à metodologia BIM dedicada à gestão de RCD, compreendeu o uso das palavras-chave “CDW”, “C&D”, “*Construction Waste*”, “*Building Information Model**” e “BIM”, combinadas com os descritores boleanos “*OR*” e “*AND*”, e a utilização do caractere * para abranger as possíveis variações da palavra "*Model*" (p. ex. *Modeling, Modelling* etc.). Ademais, foi utilizado o rótulo de campo TS (tópico), que engloba títulos, palavras-chave e resumos dos artigos potencialmente úteis. Não foi limitado o período de publicação dos artigos, sendo a última atualização realizada em 30 de maio de 2022.

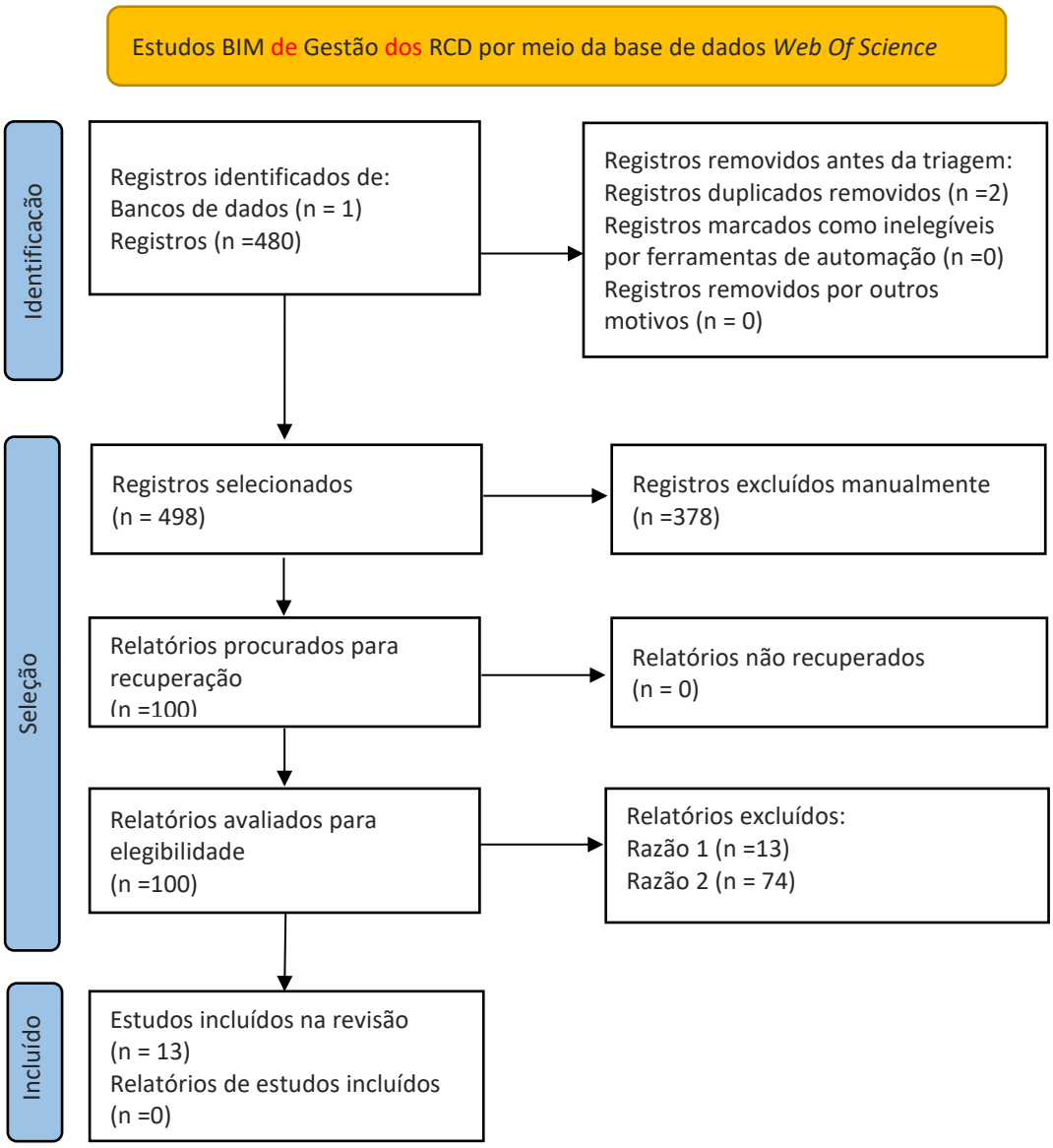
Os critérios adotados para a inclusão dos artigos na revisão sistemática foram os seguintes: (I1) pesquisas sobre a metodologia BIM aplicada à gestão de RCD durante as diversas fases do ciclo de vida do projeto; (I2) artigos que abordam modelos BIM para a previsão de estimativa de quantidades, tempo e custos de obras civis; e (I3) estudos sobre métodos matemáticos e computacionais, automáticos ou

semiautomáticos para previsão da estimativa de quantidades, tempo e custos de obras civis. Além disso, foram utilizados como critérios de exclusão: (E1) os artigos de revisão cienciométrica, artigos de revisão de escopo e artigos de revisão crítica; (E2) estudos com abordagens convencionais para gestão de RCD; e (E3) as pesquisas não relacionadas aos RCD. Adicionalmente, (I4) os artigos relacionados a metodologias para quantificação automatizada de resíduos, associadas à gestão, também foram incluídos no estudo. Os resultados deste estudo de revisão foram agrupados segundo a variável etapa de projeto envolvida na metodologia BIM dedicada à gestão dos RCD, quais sejam, a demolição, escavação, construção ou a integração de todas estas.

RESULTADOS

Inicialmente, foram encontrados 480 registros na base de dados *Web of Science*, dos quais 2 estavam em duplicidade. Após a leitura do título dos artigos, 376 foram excluídos, tendo em conta a abordagem de temática diversa da utilização da metodologia BIM para a gestão de RCD, restando 100 artigos científicos. Em seguida, foi realizada a leitura do resumo dos artigos e excluídos 13 artigos de revisão e 74 artigos nos quais não é explorada a gestão de RCD com uso do BIM, restando 13 artigos incluídos no estudo de revisão sistemática. Outrossim, o diagrama de fluxo PRISMA, constante na Figura 1, apresenta a estratégia de busca utilizada na base de dados *Web of Science.*

Figura 1: Diagrama de fluxo de seleção dos artigos.



Na Tabela 1 são apresentas as principais características dos estudos selecionados, segundo o país de origem do autor principal, tipo de construção, etapas abordadas pelo estudo, fases de aplicação, bem como uma breve descrição da metodologia.

Tabela 1: Principais características dos estudos selecionados

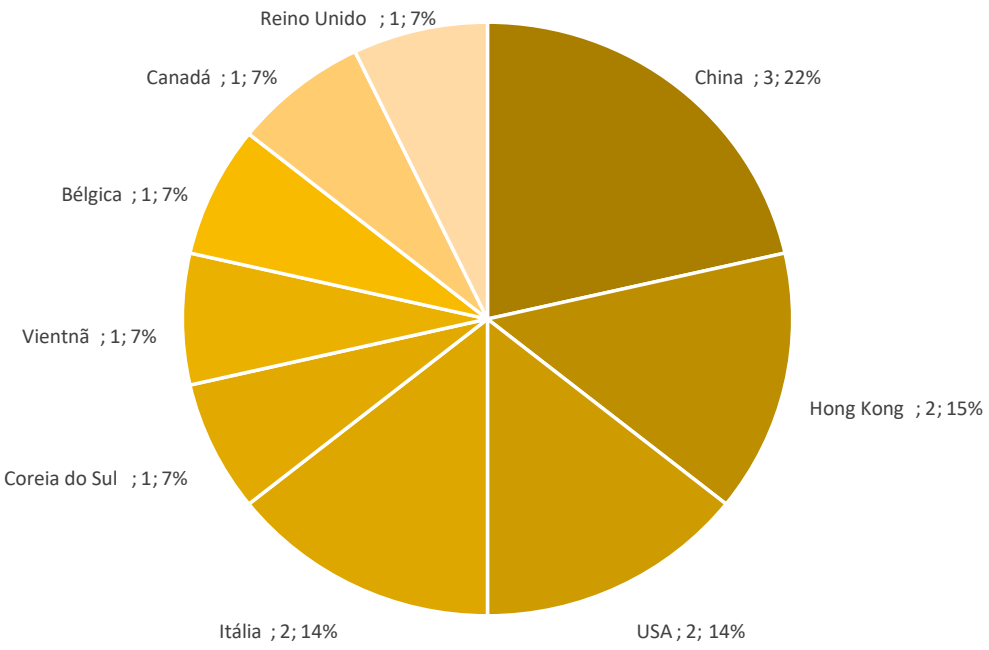
Estudo	País	Tipo de Construção	Etapas D	E	C	R	Fases	Tecnologia BIM GRCD
Hu et al. [14]	Bélgica	Edificação em alvenaria c/ 2 pavimentos	x				PL,DE	*Image-to-BIM* p/ escaneamento do edifício e quantificação dos RCD. É composto por sistema UAV, drone, câmera de mão, sensores e placa de escala.
Cheng e Ma [15]	Hong Kong	Edifício residencial c/ 47 pavimentos	x			x	PL,DE	Sistema BIM para quantificação, planejamento, reutilização e reciclagem, transporte e taxa de descarte (Revit)
Jalaei, Zoghi e Khoshand [16]	Canadá	Edifício comercial c/ 12 pavimentos e 11.850 m^2	x	x	x	x	PR	Ferramenta integrada com *Addin* dentro do BIM para quantificação de RCD; ferramenta BIM-LCA (Revit)
Lu et al. [17]	Hong Kong	Não especificado			x		PR,CV	*Framework* para aplicação computacional com algoritmos e BIM
Kang et al. [18]	Hong Kong	Edifícios habitacionais c/ fachadas pré-fabricadas	x				PR,PL	*Smart* BIM. Estrutura conceitual BIM integrando IoT, DT, IA e GPS.
Guerra, Leite e Faust [19]	USA	Edifício institucional c/ 40.135 m^2 e Edifício de uso misto c/30.658 m^2 ambos c/ LEED			x		PR,PL	Algoritmos baseados no tempo e BIM 4-D para estimativa e planejamento visual p/ reutilização de RCD no local e reciclagem fora do local – concreto e *drywall*
Pellegrini et al. [20]	Itália	Edifícios escolares públicos			x		PL	BIM p/ avaliar licitações públicas mais econômicas e vantajosas
Wang, Wu e Luo [21]	China	Edifício c/ 3 pavimentos e 5.010 m^2	x		x		PL	Sistema de estimativa Microsoft Access BIM-IFC (Revit), análise de custos p/ tomada de decisão da execução e transporte
Huang et al. [22]	China	Terraplenagem		x			PL	Sistema BIM-GIS-IoT p/ reciclagem de solo escavado (Revit)
Iacovidou, Purnell e Lim [23]	Reino Unido	Não especificado	x	x	x		PL	Identificação por radiofrequência da combinação RFID com o BIM

Bakchan, Faust e Leite [24]	USA	Edifício acadêmico		x	PL	BIM MQT para estimativa automatizada de RCD - concreto
Giammetti e Rigillo [25]	Itália	Antiga fábrica de tabaco c/ 170.000 m^2 (regeneração urbana)	x		PL	BIM p/ planejamento de fluxo de materiais (Revit)
Nguyen, Nguyen e Do [26]	Vietnam	Edifício c/ 5 pavimentos em estádio esportivo	x	x x	PL	*Image-to-BIM*. BIM e digitalização a laser 3D (UAV e câmera de mão) (Revit) – paredes e estruturas em concreto

Nota: Etapas. D = Demolição; E = Escavação; C = Construção; R = *Retrofit* ou Reforma. Fases. PR = Projeto; PL = Planejamento; OR = Orçamento; CV = Construção Virtual; CR = Construção Real; OP = Operação; DE = Desconstrução ou Demolição.
Fonte: o autor.

Os artigos incluídos neste estudo de revisão sistemática foram classificados segundo a afiliação de seu primeiro autor, conforme ilustrado na Figura 2. A China (22%) contribuiu com o maior número de publicações, seguida por Hong Kong, USA e Itália (com 14% cada). A Coreia do Sul, Vietnã, Bélgica, Canadá e Reino Unido adicionaram 7% cada um ao número total de estudos publicados. O Brasil não possui artigos publicados, embora produza anualmente uma quantidade significativa de resíduos. Por conseguinte, é necessário rever o enfoque das pesquisas produzidas no Brasil, visando disseminar o BIM como uma ferramenta de gestão dos RCD, de maneira que seja incentivada a utilização das informações constantes nos modelos BIM em favor de uma AECO ambiental e economicamente mais sustentável.

Figura 2: Artigos publicados sobre Gestão de RCD, segundo a afiliação do primeiro autor



Fonte: o autor.

GESTÃO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO

A metodologia *Image-to-BIM* desenvolvida por Hu et al. [14] é baseada em um modelo híbrido por meio de um sistema de aquisição da dados captados através de câmeras de mão de alta resolução e imagens de drone, que permitem o registro, a leitura e a interpretação com uso de inteligência de máquina e conversão de imagens internas e externas em volumes, as quais associadas formam o modelo digital do edifício e permitem a reconstrução BIM da edificação visando o planejamento da gestão de sua demolição. O *Image-to*-BIM é estruturado em quatro etapas, quais sejam captura de imagens, reconstrução fotogramétrica, planejamento e quantificação e classificação dos RCD. A metodologia foi aplicada com sucesso ao planejamento da demolição de uma edificação em alvenaria com 2 pavimentos localizada na Bélgica.

O sistema protótipo BIM desenvolvido por Cheng e Ma [15] consiste em um modelo Revit aplicado à gestão de resíduos de demolição ou de reforma de edifícios, que pode ser iniciado por meio de um *Add-in Manager* integrado à plataforma Autodesk Revit. Através do sistema de Cheng e Ma [15] o usuário pode visualizar as informações de volume dos RCD categorizadas por função do elemento (p. ex. parede), por tipo de material (p. ex. tijolos de concreto) ou pelas duas funções, bem como definir a densidade e o fator de empolamento dos materiais a reutilizar ou reciclar. Os *outputs* correspondem aos quantitativos, às classes dos RCD e aos custos de transporte e destinação. O sistema BIM idealizado pelos autores foi validado com sucesso em um típico edifício residencial com 47 pavimentos em Hong Kong.

O modelo *Smart* BIM proposto por Kang et al. [18] consiste em uma estrutura conceitual orientada por dados para demolição inteligente e une a Internet das Coisas (IoT) para coleta e troca de dados e criação do modelo 3D, Gêmeos Digitais (DT) com Inteligência Artificial (IA) para o gerenciamento e GPS visando o monitoramento do transporte e destinação dos RCD. O modelo permite a avaliação da quantidade de resíduos, a simulação do processo de demolição e ainda o estudo das rotas de descarte e as estratégias de gerenciamento. O *Smart* BIM foi aplicado com êxito em um edifício histórico com três pavimentos e geometria complexa e em um edifício de apartamentos com 4 blocos e 24 pavimentos típicos de Hong Kong.

Giammetti e Rigillo [25] abordaram a modelagem de edifícios existentes com o BIM Revit, incluindo a catalogação de sistemas construtivos e materiais de construção e a qualidade e toxicidade de seus componentes. O modelo foi criado com os dados de um projeto de regeneração urbana na cidade de Nápoles, Itália, visando estruturar um protocolo técnico de economia circular para o planejamento de cenários de demolição seletiva e não seletiva e reinserção dos resíduos na AECO. O protocolo BIM foi testado satisfatoriamente no planejamento da demolição de uma fábrica de tabaco.

GESTÃO DE RESÍDUOS DE ESCAVAÇÃO

O sistema BIM-GIS-IoT abrigado na web proposto por Huang et al. [22] compreende o planejamento e a simulação da reciclagem de solos escavados. A tecnologia IoT é utilizada para identificação do solo e definição do local de destinação. Com base nos dados geotécnicos é elaborado o projeto de terraplenagem e criado com o software Revit o modelo 3D, o qual é traduzido para GIS por meio do IFC. Em seguida são

inseridas as informações de destinação e transporte dos resíduos, com a consequente emissão automática do plano físico-financeiro de reciclagem. O método foi validado com sucesso em um projeto chinês de escavação com uma área total de construção de 103.000 m^2.

GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

O *framework* proposto por Lu et al. [17] consiste em um protótipico baseado em BIM e algoritmos, especificamente em informações-chave (banco de dados) da taxa de geração de resíduos associadas a diversas opções de projeto e esquemas de construção, que permitem a estimativa dos RCD a serem gerados e a decisão de projetistas e construtores quanto à sustentabilidade ambiental da solução de projeto escolhida.

A metodologia proposta por Guerra, Leite e Faust [19] é baseada no princípio do balanço de massas automatizado e compreende a utilização de algoritmos com ferramentas de projeto generativo baseados no tempo e integrados ao BIM-4D para estimativa de geração, reuso e reciclagem de RCD durante a reforma ou construção de edifícios com certificação LEED, especificamente os resíduos de concreto e *drywall.* A metodologia foi demonstrada viável através da aplicação em 2 projetos não residenciais no Texas (USA).

O estudo desenvolvido por Pellegrini et al. [20] apresenta uma metodologia BIM para a análise da adequação das estratégias de minimização e gestão de RCD durante a fase de licitação. O framework proposto pelos autores combina o uso de modelos BIM com fichas de dados externos visando a análise das propostas durante a licitação, segundo critérios específicos, a exemplo da redução de resíduos. A metodologia foi aplicada de forma satisfatória na contratação da construção de três escolas públicas na Itália.

O framework BIM MQT proposto por Bakchan, Faust e Leite [24] utiliza o modelo BIM para quantificar os RCD, planejar e programar o descarte, estimar o custo de descarte, planejar a reutilização e programar a disposição de recipientes de forma automatizada, especificamente para os resíduos de concreto gerados durante a construção. A estrutura foi testada com sucesso na construção de um edifício acadêmico no Texas (USA).

O processo proposto por Nguyen, Nguyen e Do [26] associa a metodologia BIM e a digitalização a laser 3D para o gerenciamento de volumes de RCD gerados durante a construção de paredes e estruturas em concreto. O processo implica em sete estágios: configuração do laser; coleta de dados antes da construção; coleta de dados durante a construção; análise e processamento dos dados; criação do modelo BIM; cálculo dos resíduos (*as-built*); e avaliação. O processo foi aplicado satisfatoriamente em um edifício com cinco pavimentos de um estádio esportivo no Vietnã.

GESTÃO DE RESÍDUOS INTEGRADA

O modelo proposto por Jalaei, Zoghi e Khoshand [16], aplicável à demolição, escavação e construção, automatiza e simplifica o processo de cálculo dos RCD de edifícios e permite a avaliação dos impactos ambientais gerados pela obra, tendo como base o método de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) associado ao BIM – o *Athena#Impact*

Estimator é utilizado como ferramenta complementar do LCA. Os autores destacam que o modelo automatiza o processo de integração através da customização e uso do *Application Programming Interface* (API) da ferramenta BIM, de modo que é possível aos usuários conectarem seu projeto com diferentes módulos do BIM-LCA. Os autores utilizaram um edifício composto por 12 andares como estudo de caso. O estudo comparado do BIM-LCA com o método convencional revelou uma diminuição de até 42,4% na combustão total de energia de resíduos para o grupo parede, dentre outros resultados.

O sistema proposto Wang, Wu e Luo [21] é baseado no banco de dados Microsoft Access (*data center*), que é capaz de alavancar o modelo BIM-IFC para transmissão de dados, quantificação e classificação precisa e automatizada dos RCD. Esse sistema utiliza o modelo BIM como fonte de dados e subsidia a elaboração do plano de gestão de resíduos de construção e demolição, revelando a melhor relação custo-benefício para operações eficientes de transporte e destinação. O modelo foi testado com sucesso em um edifício típico da China com 3 pavimentos e 5.010 m^2.

O estudo desenvolvido por Iacovidou, Purnell e Lim [23] explorou a combinação da identificação por rádio frequência (RFID) com o BIM, que tem relevante potencial para promover a reutilização de componentes estruturais. Segundo os pesquisadores, o RFID tem capacidade para rastrear, localizar, ler, escrever, atualizar e armazenar componentes estruturais em todo o ciclo de vida do edifício. No entanto, os autores destacam que o RFID precisa incorporar recursos adicionais, como GPS e tecnologias de sensores.

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO

A redução, reutilização e reciclagem de RCD são estratégias de gerenciamento ambiental fundamentais ao êxito de quaisquer metodologias aplicadas à gestão de resíduos, incluindo as tecnologias baseadas em BIM. Portanto, adiante são apresentados os estudos selecionados e as respectivas estratégias de gerenciamento adotadas nos métodos BIM dedicados à gestão de resíduos (Tabela 2), segundo as etapas do ciclo de vida do projeto, nomeadamente a construção, operação e demolição de edifícios.

Tabela 2: Estratégias de gerenciamento dos RCD abordadas nos estudos selecionados

Estudo	Projeto	Construção	Operação	Demolição
Hu et al. [14]	-	-	-	ANA, REU, REC, DES
Cheng e Ma [15]	-	-	ANA, REU, REC	ANA, REU, REC
Jalaei, Zoghi e Khoshand [16]	ANA, RED	ANA, RED	ANA, RED	ANA, RED
Lu et al. [17]	ANA, RED	ANA, RED	-	-
Kang et al. [18]	-	-	-	ANA, REU, REC
Guerra, Leite e Faust [19]	ANA, REU, REC	-	-	-
Pellegrini et al. [20]	ANA, RED, REU, REC	-	-	-
Wang, Wu e Luo [21]	ANA, REC	ANA, REC	-	ANA, REC
Huang et al. [22]	ANA, REU, REC	ANA, REU, REC	-	-
Iacovidou, Purnell e Lim [23]	-	-	REU, REC	REU, REC
Bakchan, Faust e Leite [24]	ANA, REU	ANA, REU	-	-
Giammetti e Rigillo [25]	-	-	-	ANA, DES
Nguyen, Nguyen e Do [26]	-	ANA, DES	-	-

Nota: Estratégias. ANA = Análise; RED = Reduzir; REU = Reutilizar; REC = Reciclar; Destinar = DES.

CONCLUSÃO

O presente estudo de revisão sistemática evidencia as metodologias baseadas em BIM desenvolvidas por estudiosos de importantes centros de pesquisa do mundo, aplicadas à gestão de RCD produzidos durante todo o ciclo de vida de projetos da AECO. Ademais, a síntese dos estudos, com os principais aspectos dos modelos experimentais embasados em tecnologia BIM, notadamente o apontamento das potencialidades de sua utilização na problemática da gestão dos resíduos de projetos executados no Brasil, oportuniza aprendizado útil ao desenvolvimento de novas metodologias BIM para gestão de RCD adequadas às singularidades dos projetos da AECO brasileira.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento da pesquisa IBPG-0128-3.01/21.

REFERÊNCIAS

[1] ZOGHI, M.; KIM, S. Dynamic Modeling for Life Cycle Cost Analysis of BIM-Based Construction Waste Management. **Sustainability**, v.12, n.6, p. 1-21, mar. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12062483

[2] LU, W.; WEBSTER, C.; CHEN, K.; ZHANG, X.; CHEN, X. Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, n.1, p. 587-595, fev. 2017.

[3] MAUÉS, L. M. F.; NASCIMENTO, B. M. O.; LU, W.; XUE, F. Estimating construction waste generation in residential buildings: A fuzzy set theory approach in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 265, n.20, ago. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121779

[4] LI, C. Z.; ZHAO, Y; XIAO, B.; YU, B.; TAM, V. W. Y.; CHEN, Z.; YA. Y. Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, n. 1, ago. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121458

[5] SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, p. 357-375, out. 2009. DOI: https://doi:10.1016/j.autcon.2008.10.003

[6] PENTILLA, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **ITcon**, v. 11, p. 395-408, jun. 2006.

[7] NIKMEHR, B.; HOSSEINI, M. R.; WANG, J.; CHILESHE, N.; RAMEEZDEEN, R. BIM-Based Tools for Managing Construction and Demolition Waste (CDW): A Scoping Review. **Sustainability**, v. 13, n. 15, p. 1-19, jul. 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13158427

[8] BRASIL. Resolução CONAMA n° 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2002.

[9] CHUNG, S. W. KWON, S. W. MOON, D. Y. KO, T. K. Smart Facility Management Systems Utilizing Open BIM and Augmented/Virtual Reality. In: **35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction.** ISARC, 2018.

[10] BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2019.

[11] CARVALHO, H. J. S.; SCHEER, S. A utilização de modelos BIM na gestão de Resíduos de Construção e Demolição. In: VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. **Anais** ... Recife, 2015.

[12] DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. **Revista Científica da Ordem dos Médicos**, Coimbra, Portugal, v. 32, n. 3, p. 227-235, mar. 2019. DOI: https://doi.org/10.20344/amp.11923

[13] GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol.Serv.Saúde**, Brasília, v. 23, n.1, p. 183-184, mar. 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742014000100018

[14] HU, X.; ZHOU, Y.; VANHULLEBUSCH, S.; MESTDAGH, R.; CUI, Z.; LI, J. Smart building demolition and waste management frame with image-to-BIM**. Journal of Building Engineering,** v. 49, n.15, p. 1-16, mai. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104058

[15] CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, v. 33, n. 6, jun. 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001

[16] JALAEI, F.; ZOGHI, M.; KHOSHAND, A. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). **International Journal of Construction Management**, v.21, n. 12, p. 1-18, mar. 2019. DOI: https://10.1080/15623599.2019.1583850

[17] LU, W.; WEBSTER, C.; CHEN, K.; ZHANG, X.; CHEN, X. Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 68, n. 1, p. 587-595, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029

[18] KANG, K.; BESKLUBOVA, S.; DAI Y.; ZHONG, R. Y. Building demolition waste management through smart BIM: A case study in Hong Kong. **Waste Management**, v. 143, n. 15, p. 69-83, abr. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.027

[19] GUERRA, B. C.; LEITE, F.; FAUST, K. M. 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. **Waste Management**, v. 116, p. 79-90, out. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.035

[20] PELLEGRINI, L.; CAMPI, S.; LOCATELLI, M.; PATTINI, G.; GIUDA, G. M. D.; TAGLIABUE, L. V. Digital Transition and Waste Management in Architecture, Engineering, Construction, and Operations Industry. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, p. 1-21, nov. 2020. DOI: https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.576462

[21] WANG, T. K.; WU, Z.; LUO, C. Multi-participant construction waste demolition and transportation decision-making system. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 170, p. 1-13, jul. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105575

[22] HUANG, T.; KOU, S.; LIU, D.; LI, D.; XING, F. A BIM-GIS-IoT-Based System for Excavated Soil Recycling. **Buildings**, v. 12, n. 4, p. 1-17, abr. 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings12040457

[23] IACOVIDOU, E.; PURNELL, P.; LIM, M. K. The use of smart technologies in enabling construction components reuse: A viable method or a problem creating solution? **Journal of Environmental Management**, v. 216, n. 15, p. 214-223, jun. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.093

[24] BAKCHAN, A.; FAUST, K. M.; LEITE, F. Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework: Integration with project and site planning. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 146, p.462-474, jul. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.020

[25] GIAMMETTI, M. T.; RIGILLO, M. Gestione del rifiuto da demolizione nel progetto di rigenerazione urbana. **TECHNE**, v. 22, p. 240-248, 2020. DOI: https://doi.org/10.36253/techne-10615

[26] NGUYEN, T. A.; NGUYEN, P. T.; DO, S. T. Application of BIM and 3D Laser Scanning for Quantity Management in Construction Projects. **Advances in Civil Engineering**, dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/8839923