Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]Proposta de uso de BIM e tecnologia Blockchain para gestão da edificação como um banco de materiais

Proposal for the use of BIM and Blockchain Technology for building management as a materials bank

Rafael Otávio Araújo Santos
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | rafaelotavio@ufba.br

Gisele Cristina Teles dos Santos
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | santos.gisele@ufba.br

Elaine Pinto Varela Alberte
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | elaine.varela@ufba.br

Reymard Sávio Sampaio de Melo
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | reymard.savio@ufba.br

RESUMO

A integração da tecnologia *Blockchain*, ou sua sigla em inglês BT (*Blockchain Technology*), com a gestão da informação da construção tem sido vista como uma maneira de aumentar a transparência e a rastreabilidade desses dados. No entanto, o uso da TB para o gerenciamento da construção como um banco de materiais ainda enfrenta desafios que precisam ser superados. O objetivo desse estudo é apresentar uma proposta de plataforma para o uso de BIM e BT para a gestão da edificação como um banco de materiais, promovendo a economia circular na construção civil. Para tal, o estudo realizou uma análise integrativa de onze pesquisas relacionadas ao tema onde foi possível identificar potencialidades e boas práticas de uso dessas tecnologias para esta função. Como resultado, o estudo mapeou nove tipos de evidência e, através de uma matriz de análise de conteúdo, correlacionou os componentes da Blockchain e elementos do BIM com as principais funções de um banco de materiais e desenvolveu uma estrutura teórica de plataforma que compreende três camadas (detecção, inteligência e aplicação).

Palavras-chave: BIM; blockchain; banco de materiais; economia circular

ABSTRACT

Integrating blockchain technology (BT) with the management of construction information has been seen to increase the transparency and traceability of this data. However, using BT for construction management as a material bank still faces challenges that must be overcome. This study aims to present a platform proposal for the use of BIM and BT for the management of the building as a material bank, promoting the circular economy in civil construction. To this end, the study carried out an integrative analysis of eleven studies related to the topic, where it was possible to identify potentialities and good practices in using these technologies for this function. As a result, the study mapped nine pieces of evidence and correlated Blockchain components and BIM elements with the main parts of a material bank through a content analysis matrix. It developed a theoretical platform structure comprising three layers (detection, intelligence, and application).

Keywords: BIM; blockchain; materials bank; circular economy

1 INTRODUÇÃO

Adotar a tecnologia *blockchain*, ou sua sigla em inglês BT (*Blockchain Technology*) na indústria da construção é um desafio, pois ainda há uma visão limitada sobre o investimento em inovação e uma estrutura solta para a implementação de novas tecnologias (SHOJAEI, 2019). Por outra parte, o setor fornece vários obstáculos, incluindo falta de colaboração e compartilhamento de informações; baixos níveis de confiança entre as partes; baixa produtividade; não conformidade com regulamentos e questões envolvendo direitos de propriedade intelectual (LI; GREENWOOD e KASSEM, 2019).

Observa-se a necessidade de se concretizar tais avanços, com vistas a apoiar o desenvolvimento sustentável do setor. No contexto da gestão da edificação como um banco de materiais, em especial, a BT pode contribuir significativamente para a gestão das informações acerca dos materiais que compõem a construção ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. O conceito da gestão da edificação como um banco de materiais, ou sua sigla em inglês BAMB (*Building as Material Banks*) provêm de uma iniciativa colaborativa europeia que busca impulsionar a transição para uma economia circular na indústria da construção, tendo como objetivo a

[1]SANTOS, R. O. A.; SANTOS, G. C. T.; ALBERTE, E. P. V. Proposta de uso de BIM e Tecnologia Blockchain para gestão da edificação como um banco de materiais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

recuperação e reutilização de materiais (BAMB, 2020). Kouhizadeh, Sarkis e Zhu (2019) afirmam que a economia circular (EC) é um conceito emergente para repensar e redesenhar a forma como nossa economia funciona. Esse conceito reconhece a importância do funcionamento econômico eficaz e eficiente em diversas escalas, desde governos e indivíduos até empresas grandes e pequenas, tanto em nível global, quanto local. A EC representa uma mudança que proporciona benefícios ambientais e sociais, tornando-se uma abordagem cada vez mais importante para enfrentar os desafios da sustentabilidade em todo o mundo.

Setaki e Timmeren (2022) destacam que a adoção do BIM (*Building Information Modeling*) e da BT na indústria da construção pode impulsionar significativamente a transição para uma EC. O BIM pode ser usado para otimizar o design do posto de vista da gestão de materiais e resíduos, reduzindo o desperdício e maximizando a recuperação de materiais. Já a BT pode ser usada para rastrear com precisão a localização e o destino dos materiais, incentivando a EC e a troca de materiais entre empresas. A utilização da BT e do BIM em conjunto, por sua vez, pode permitir a criação de registros confiáveis de transações entre projetos de oferta e demanda de materiais de construção. Isto significa que todos os participantes do projeto podem usar a BT para rastrear informações sobre materiais (COPELAND e BILEC, 2020). A descentralização que rege esta tecnologia pode produzir a confiabilidade e a rastreabilidade necessárias para os processos de logística reversa e de servitização envolvidos (KOUHIZADEH, SARKIS e ZHU, 2019). Dessa forma, a indústria da construção pode se tornar mais eficiente, sustentável e circular, gerando benefícios econômicos, ambientais e sociais.

Este estudo propõe uma estrutura de plataforma para a gestão da edificação como um banco de materiais, utilizando a BT e o BIM. A pesquisa busca responder à seguinte questão: Como integrar BT e BIM para a gestão da edificação como um banco de materiais eficiente e sustentável? Dois objetivos subjacentes foram traçados para alcançar o objetivo, a saber, (a) identificar literatura ampla e diversificada de pesquisas relacionadas ao tema, e (b) realizar mapeamento sistemático de casos aplicados, produzindo ao final uma análise integrada e sistematizada das evidências coletadas para a construção de uma proposta desejada. Espera-se que esta pesquisa contribua para o avanço do uso e integração da BT e do BIM na construção civil, propondo um sistema que utiliza essas tecnologias para otimizar a gestão de banco de materiais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

BT é um banco de dados distribuído utilizado para replicar, compartilhar e sincronizar dados dispersos em diferentes locais (Santos et al, 2021). É considerada uma tecnologia de registro distribuído (DLT), com potencial para transformar muitas indústrias globais, incluindo a da construção civil (LI, GREENWOOD e KASSEM, 2019). BIM, por sua vez é um processo que utiliza um modelo digital da construção para planejar, construir e operar uma edificação. Esse modelo é rico em dados, baseado em objetos, inteligente e paramétrico, além de permitir a extração de informações úteis para diferentes usuários (CHENG e MAMÃ, 2013).

A integração de BT e BIM pode revolucionar a forma como as informações sobre edifícios são gerenciadas e compartilhadas. Vários estudos na literatura (Yang et al 2020, Liu et al 2022) sugerem que a BT pode criar um banco de dados imutável e compartilhado que permite aos participantes da construção, como arquitetos, engenheiros e empreiteiros, acesso a informações precisas e atualizadas sobre o projeto, materiais utilizados e informações de manutenção ao longo do ciclo de vida do edifício.

Atualmente, a BT é utilizada para registrar de forma precisa as alterações feitas em um modelo BIM compartilhado por um grupo de usuários (TURK e KLINC, 2017). Com essa solução, o grupo de usuários tem acesso a informações sobre quem realizou cada alteração em um determinado momento, permitindo um controle mais preciso e transparente das mudanças realizadas.

Setaki e Timmeren (2022) destacam que entre os benefícios do BIM, no contexto da construção e numa perspectiva de Economia Circular (EC), estão a eficiência do processo construtivo e a possibilidade de otimização do projeto de materiais e resíduos. E nesse âmbito, alguns estudos (LI, GREENWOOD e KASSEM, 2019; LIU et al., 2022) visam usar o TB integrado ao BIM para automatizar as informações do edifício. A descentralização que rege essa tecnologia pode produzir a confiabilidade e rastreabilidade necessárias para os processos de logística reversa e servitização envolvidos (KOUHIZADEH, SARKIS e ZHU 2019).

Na gestão da edificação como um banco de materiais, a BT pode ser empregada para gerenciar e criar registros confiáveis de transações entre projetos de oferta e demanda (COPELAND e BILEC, 2020), permitindo a criação de uma plataforma de compartilhamento de materiais que promove a economia circular e a sustentabilidade na construção civil. Observa-se aqui o potencial da tecnologia para garantir a

transparência e rastreabilidade de passaportes de materiais, que consistem em um conjunto de dados que descrevem as características dos materiais com foco na recuperação e reutilização (BAMB, 2020). Esses passaportes podem ser usados para avaliar os fluxos de materiais e o valor de mercado de materiais de construção usados de diferentes qualidades.

O quadro 1 apresenta estudos identificados na literatura acerca do uso de BIM e/ou BT para a gestão da edificação como um banco de materiais. Apenas P2 e P3 efetivamente propuseram a integração de BIM e BT em seus trabalhos, o que demonstra a necessidade de mais estudos aplicados sobre o tema. P4 e P6 abordaram sobre ambas as tecnologias, mas não desenvolveram uma proposta de aplicação.

Quadro 1: Estudos acerca do uso de TB e/ou BIM para a gestão da edificação como um banco de materiais

CÓDIGO	FONTE	OBJETIVO	TECNOLOGIA ADOTADA	
			BIM	TB
P1	Yang et al, 2020	Desenvolver uma plataforma blockchain para a indústria da construção, juntamente com suas limitações em várias aplicações		X
P2	Xue e Lu, 2020	Desenvolver uma abordagem de transação diferencial semântica (SDT) para minimizar a redundância de informações e garantir a interoperabilidade entre plataformas BIM e Blockchain.	X	X
P3	Hamledari e Fischer, 2021	Integrar contratos inteligentes habilitados para blockchain, usando sensoriamento e modelos de informações de construção as-built (BIM)	X	X
P4	Setaki e Van Timmeren, 2022	Esclarecer os cenários de implementação de tecnologias digitais para a indústria da construção circular.	X	X
P5	Shojaei, 2019	Explorar as aplicações da BT na melhoria dos sistemas de gerenciamento de informações da construção		X
P6	Van Groesen e Pauwels, 2022	Integrar blockchain e contratos inteligentes para rastreamento de ativos.	X	X
P7	Liu et al, 2022	Propor uma estrutura de gerenciamento de informações de resíduos de construção		X
P8	Li, Greenwood e Kassem, 2019	Desenvolver uma abordagem coerente para apoiar a adoção da Blockchain na construção		X
P9	Volk et al, 2018	Apresentar um sistema móvel e vestível que permite que planejadores, especialistas ou tomadores de decisão inspecionem um edifício e, ao mesmo tempo, registrem, analisem, reconstruam e armazenem o edifício digitalmente.	X	
P10	Ahmadian F.F. et al, 2016	Desenvolver metodologia para contabilizar os trade-offs sistemáticos entre os impactos econômicos, ambientais e sociais das decisões de abastecimento.	X	
P11	Farzad Jalaei e Ahmad Jrade, 2015	Expor a viabilidade do uso do BIM para a análise dos custos do ciclo de vida de edifícios sustentáveis na fase conceitual.	X	

Fonte: Autores

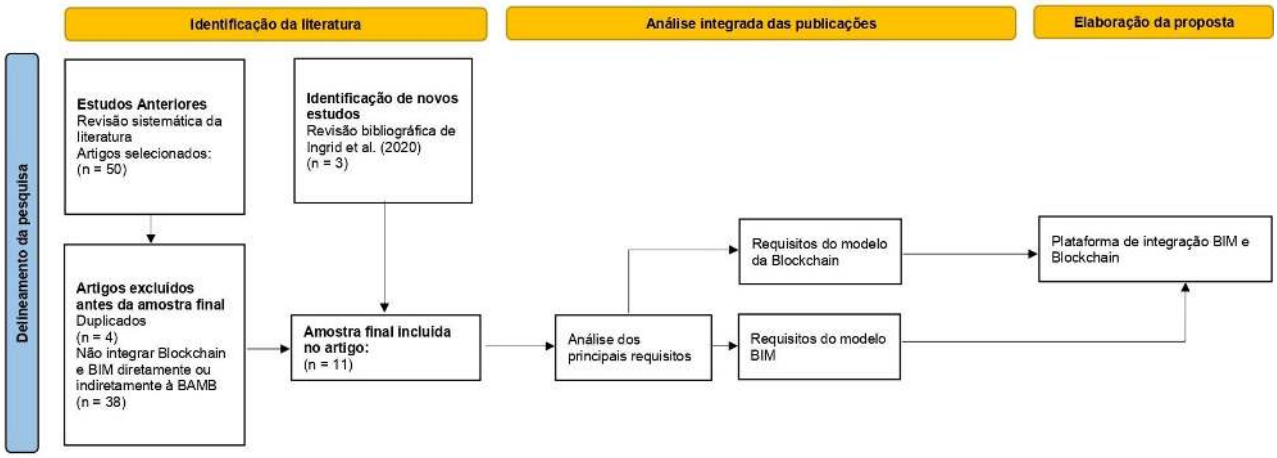
3 METODOLOGIA

Este estudo exploratório propõe uma estrutura de plataforma integrada de BIM e BT para a gestão da edificação como um banco de materiais. A proposta foi desenvolvida por meio de uma revisão integrativa da literatura sobre o tema. A revisão bibliográfica é considerada um método importante para identificar estudos relevantes e avaliar as conclusões sobre um determinado conhecimento específico. O estudo está dividido em três etapas: Identificação da literatura (Etapa 1), Análise integrada das publicações (Etapa 2) e Elaboração de proposta (Etapa 3).

Na Etapa 1 (Identificação da literatura) definiu-se o termo (string) de pesquisa, com o objetivo de identificar e analisar estudos que abordam o uso da BT para promoção de BAMB. A busca por publicações foi realizada nas bases de dados Scopus e Web of Science, e a sequência de pesquisa adotada foi BIM AND BLOCKCHAIN AND (MATERIAL BANK OR CIRCULAR ECONOMY). Os artigos foram selecionados com base na leitura dos títulos, resumos e conclusões, e apenas os artigos diretamente relacionados ao tema proposto foram incluídos.

Após a remoção de publicações duplicadas, uma amostra inicial de 46 artigos foi identificada. A partir da leitura dos resumos e conclusões, foram selecionados apenas os artigos que abordaram aspectos da aplicação da tecnologia Blockchain integrada com BIM para a gestão de informações de construção, diretamente ou indiretamente relacionados ao conceito de BAMB (8 artigos). Contudo, dentre os estudos relacionados apenas dois efetivamente propuseram a integração de BIM e BT. Desse modo, foi identificada a necessidade de ampliar a pesquisa sobre o uso de BIM para a gestão da edificação como banco de materiais. Mais 3 artigos foram selecionados a partir da revisão bibliográfica realizada por Ingrid et al. (2021), que identificou na literatura um conjunto de publicações que desenvolvem aplicações práticas do BIM para BAMB. A amostra final de 11 artigos é apresentada no quadro 1 deste documento.

Figura 1: Estrutura metodológica adotada.



Fonte: Autores

Na Etapa 2 (Análise integrada das publicações), foram realizadas análises sobre os principais requisitos de BT e BIM identificados na literatura. Através de uma análise estruturada do conteúdo dessas pesquisas, foi possível identificar evidências que conectam os componentes da BT e do BIM com as funções da gestão de BAMB. Em seguida realizou-se uma análise integrada e sistematizada dessas evidências com variáveis de análise relacionadas a conceitos da BT e do BIM. Os resultados desta etapa são apresentados no item 4 deste artigo.

Com base nestas análises, foi desenvolvida uma proposta estrutural para uma plataforma de integração BIM e BT com formato e estrutura que atendam as demandas do setor, considerando as potencialidades dessas tecnologias, e as boas práticas identificadas na literatura. Os resultados desta etapa (Etapa 3) são apresentados no item 5.

4 ANALISE DOS RESULTADOS

A Figura 2 apresenta uma análise sobre os oito artigos selecionados que abordam o uso da BT na gestão da informação da construção. Essas pesquisas são dedicadas à geração de conhecimento para soluções e discussões do problema, possuindo uma natureza aplicada. A quase totalidade aborda e descreve possíveis implementações para a resolução de problemáticas na indústria da construção, com o intuito de facilitar atividades que abrangem todo o ciclo de vida de um projeto de construção.

A figura 2 destaca evidências sobre os componentes de uma plataforma Blockchain nos estudos analisados. Dessa forma, apresenta intersecções de uso, de modo a estabelecer conexões entre as evidências apresentadas. Os pontos destacados na coluna “Tipo de evidência” nomeiam quais componentes da Blockchain foram identificados nos estudos analisados. Setaki e Timmerem (2022) destacam que uma das aplicações da Blockchain é na gestão e registro de transações seguras no processo de oferta e demanda de materiais. Tal afirmação é evidenciada em E3 e E4.

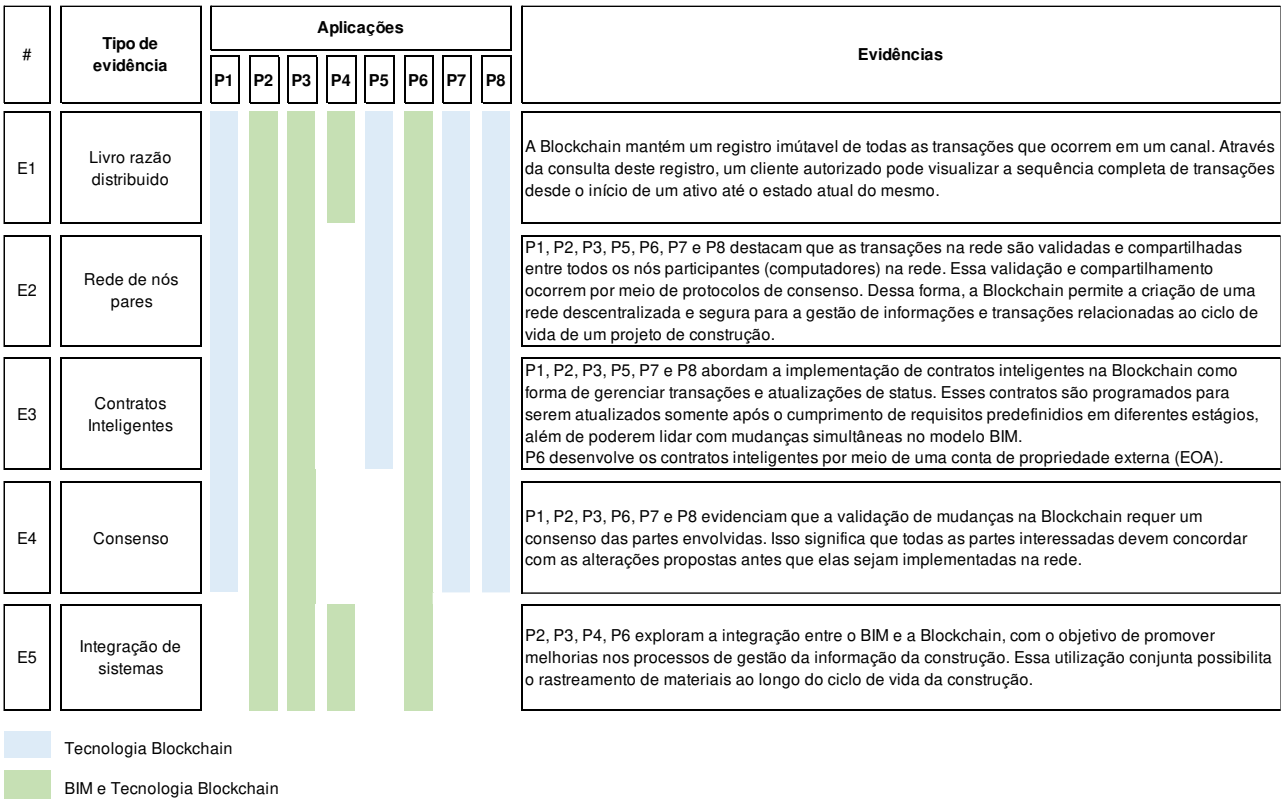
Quantos aos processos da gestão da informação da construção como um banco de materiais, os mais evidenciados são os processos de rastreamento e transações (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8), o que indica que essas fases apresentam importante potencial de melhoria com o uso da BT, tendo em vista a:

- Utilização de contratos inteligentes para garantir a execução de acordos entre as partes envolvidas nas transações, eliminando a necessidade de intermediários.

- Integração de sistemas para conectar as diferentes partes envolvidas, facilitando o compartilhamento de informações ao utilizar um modelo BIM, por exemplo.

Livro razão, rede de nós pares e contratos inteligentes são os componentes da BT que mais aparecem, apontando para a possibilidade de uso desses elementos na melhoria dos processos de rastreamento e transações na indústria da construção, reduzindo a possibilidade de erros, fraudes e falhas de comunicação, e permitindo uma maior eficiência e agilidade na tomada de decisão.

Figura 2: Mapeamento de evidências em estudos que adotam BT.

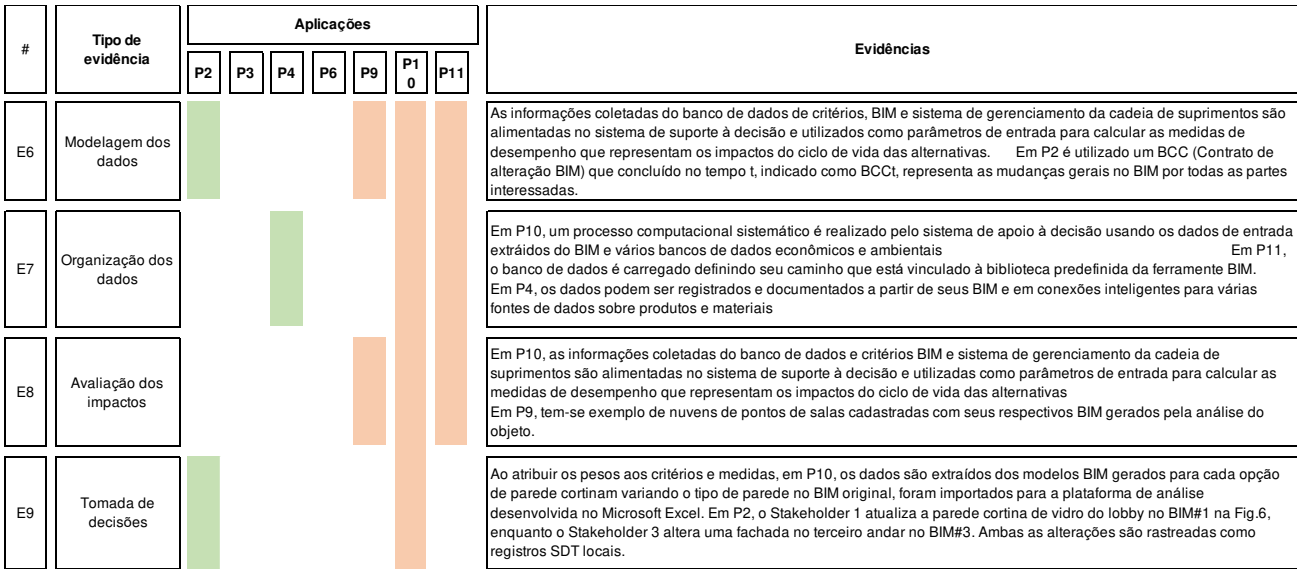


Fonte: Autores

A Figura 3 apresenta o mapeamento de evidências nos estudos que adotam BIM. O tipo de evidência com maior repetição é o de Modelagem de dados. Observa-se, assim, sua importância para a geração de dados para tomada de decisão nos projetos, compatibilização e sincronização de informações.

Dois outros tipos de evidência chamam atenção: organização de dados e tomada de decisão. O primeiro demonstra a relevância da tecnologia para gerir e ordenar as informações inerentes ao projeto, configurando-o como um banco de dados de premissas importantes para mapeamento de escolhas a serem feitas. O objetivo é realizar conexões inteligentes para várias fontes de dados sobre produtos e materiais, organizados como bibliotecas, de forma eficiente e disruptiva. O segundo tipo de evidência aponta a questão da extração e gerenciamento das informações do projeto para soluções a serem adotadas. Critérios de avaliação são definidos a fim de se optar por uma alternativa dentre as que estão disponíveis, gerando um consenso entre os stakeholders envolvidos.

Figura 3: Mapeamento de evidências em estudos que adotam BIM



#	Tipo de evidência	Aplicações							Evidências
		P2	P3	P4	P6	P9	P10	P11	
E6	Modelagem dos dados	■				■	■	■	As informações coletadas do banco de dados de critérios, BIM e sistema de gerenciamento da cadeia de suprimentos são alimentadas no sistema de suporte à decisão e utilizados como parâmetros de entrada para calcular as medidas de desempenho que representam os impactos do ciclo de vida das alternativas. Em P2 é utilizado um BCC (Contrato de alteração BIM) que concluído no tempo t, indicado como BCCt, representa as mudanças gerais no BIM por todas as partes interessadas.
E7	Organização dos dados			■					Em P10, um processo computacional sistemático é realizado pelo sistema de apoio à decisão usando os dados de entrada extráidos do BIM e vários bancos de dados econômicos e ambientais Em P11, o banco de dados é carregado definindo seu caminho que está vinculado à biblioteca predefinida da ferramente BIM. Em P4, os dados podem ser registrados e documentados a partir de seus BIM e em conexões inteligentes para várias fontes de dados sobre produtos e materiais
E8	Avaliação dos impactos					■	■	■	Em P10, as informações coletadas do banco de dados e critérios BIM e sistema de gerenciamento da cadeia de suprimentos são alimentadas no sistema de suporte à decisão e utilizadas como parâmetros de entrada para calcular as medidas de desempenho que representam os impactos do ciclo de vida das alternativas Em P9, tem-se exemplo de nuvens de pontos de salas cadastradas com seus respectivos BIM gerados pela análise do objeto.
E9	Tomada de decisões	■					■		Ao atribuir os pesos aos critérios e medidas, em P10, os dados são extraídos dos modelos BIM gerados para cada opção de parede cortinam variando o tipo de parede no BIM original, foram importados para a plataforma de análise desenvolvida no Microsoft Excel. Em P2, o Stakeholder 1 atualiza a parede cortina de vidro do lobby no BIM#1 na Fig.6, enquanto o Stakeholder 3 altera uma fachada no terceiro andar no BIM#3. Ambas as alterações são rastreadas como registros SDT locais.

Fonte: Autores

5 SISTEMA PROPOSTO

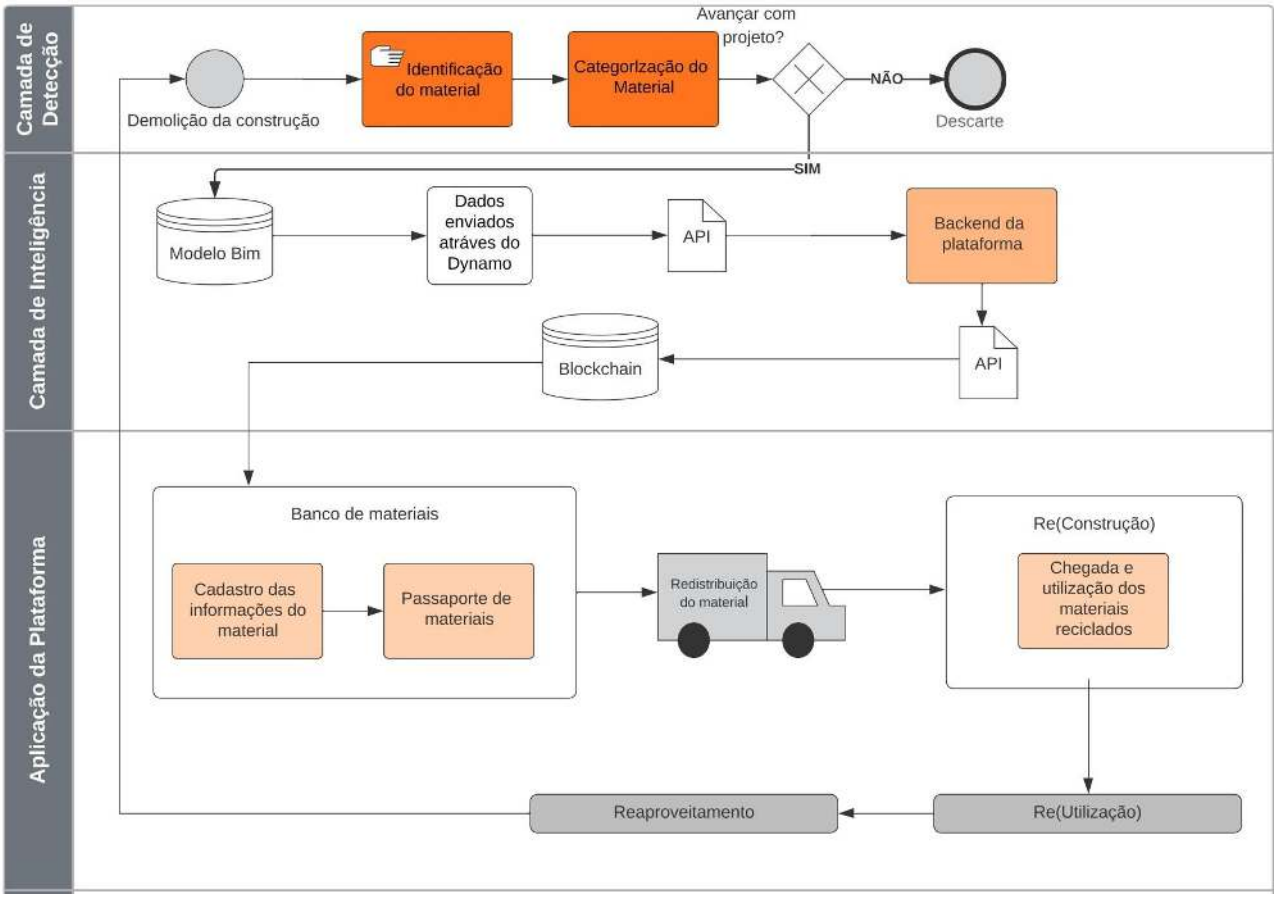
Com base nas evidências mapeadas na literatura, este estudo propõe uma plataforma para controle, identificação e reaproveitamento dos materiais de uma construção (Figura 4).

A BT utilizada na plataforma é um livro razão distribuído que permite a gravação de transações de forma segura, descentralizada e transparente. Os dados são registrados em blocos que são distribuídos por uma rede de nós pares, como destaca E2. Essa rede de nós pares valida e mantém a integridade das transações, garantindo a segurança e a transparência das transações. Além disso, a plataforma utiliza contratos inteligentes, que são programas autônomos que executam automaticamente termos acordados entre as partes envolvidas, garantindo a segurança e transparência das transações. Para garantir a integridade das transações, é necessário um consenso entre os participantes, que é alcançado através da validação de cada transação pelos nós pares da rede.

O sistema busca resolver principalmente problemas relacionados à componentes de construção recuperáveis e reutilizáveis, sendo dividido em 3 camadas (etapas). A primeira camada (etapa), denominada de detecção, é onde ocorre os trâmites iniciais, como o processo de desconstrução física de um edifício e a realização do processo de filtragem dos materiais que possam ser vendidos, reutilizados e registrados na plataforma. É de grande importância que os materiais sejam recertificados e testados para a sua reutilização. Dessa forma, os materiais que passarem por esse procedimento de triagem poderão ser reutilizados, conforme indica E6. Essa camada é a base para a geração de informações confiáveis que serão utilizadas nas próximas camadas (etapas).

A segunda camada (etapa), chamada de inteligência, é responsável pelo processamento e registro das informações coletadas na camada de detecção. Nessa camada, utiliza-se o Dynamo para coletar os dados do modelo BIM desenvolvido no Revit, que contém informações detalhadas sobre o material registrado. APIs seriam desenvolvidas para conectar as informações recolhidas pelo Dynamo para serem registradas na Blockchain da plataforma. Assim, contratos inteligentes podem ser feitos impondo condições para que as transações sejam feitas, como destaca E3 e E6: um status de um contrato inteligente só será atualizado quando os requisitos predefinidos forem cumpridos em diferentes estágios. Com isso, a utilização do Revit e do Dynamo permitem a criação de uma base de informações confiáveis que são armazenadas na Blockchain para garantir a segurança e a transparência das transações, similar a organização de dados exposto em E7.

Figura 4: Proposta de plataforma para controle, identificação e reaproveitamento dos materiais de uma construção.



Fonte: Autores

A terceira camada (etapa), denominada de aplicação da plataforma, é responsável por permitir a criação de um passaporte de materiais e a redistribuição do material para uma nova construção. Durante esse período, à medida que os registros são feitos, os materiais são transportados para a construtora e, os recursos são reutilizados visando a redução do desperdício e o aumento da eficiência no processo de construção. Os impactos são avaliados nesta fase, como destaca E8. Ao final dessa etapa, à medida que o projeto de desconstrução vai sendo concluído, os materiais são transportados e registrados novamente na plataforma, dando início a todo ciclo novamente de identificação do material por suas propriedades mecânicas e estruturais. Nesta fase observa-se a ação de avaliação da tomada de decisão citada por E9. Vale ressaltar que a utilização da BT permite a criação de uma base de informações transparente e segura, permitindo a realização de todo o processo novamente.

Em síntese, a plataforma proporciona segurança, descentralização e transparência às transações de servitização e logística reversa de materiais de construção recuperáveis e reutilizáveis ao registrar informações relevantes ao processo em uma base de dados confiável e segura. Através da plataforma, realiza-se: (1) Detecção inicial e triagem dos materiais recuperáveis e reutilizáveis no próprio modelo BIM, desenvolvido no Revit; (2) Processamento e registro das informações coletadas, de forma automatizada, com o apoio do Dynamo e APIs, comunicando diretamente os dados dos materiais recuperáveis e reutilizáveis (passaporte de materiais) ao livro razão da blockchain; (3) Aplicação prática desses dados (passaporte de materiais) na redistribuição dos materiais para novas construções, ao integrar tais informações a contratos inteligentes estabelecidos para garantir a conformidade e os requisitos das transações de servitização e logística reversa desses materiais, garantindo sua reincorporação adequada em novo uso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apontaram que a integração de BT e BIM é bastante útil para aumentar a transparência e rastreabilidade dos dados, promovendo a economia circular na construção civil. A proposta compreende três

camadas (detecção, inteligência e aplicação) que objetivam automatizar a detecção e seleção de materiais, gerar inteligência na gestão e promover a reutilização de materiais, respectivamente.

A aplicação da BT permitirá a automatização do processo de logística reversa, conferindo eficiência e viabilizando os processos de forma menos burocrática. A descentralização característica da tecnologia possibilitará a conferência instantânea de dados, o que se mostra ideal para solucionar as dificuldades existentes na gestão da edificação como um banco de materiais.

Como estudos futuros, propõem-se a aplicação e validação da proposta em ambiente real de construção, a análise dos impactos ambientais da proposta e a integração da proposta com outras tecnologias de gestão da construção.

AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC / CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de recursos financeiro (Projeto 402380/2021-5).

REFERÊNCIAS

AHMADIAN, FF Alireza et al. Accounting for transport times in planning off-site shipment of construction materials. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 1, p. 04015050, 2016. ISSN: 0733-9364. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001030> Acesso em: 24 mar de 2023. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001030

BAMB – Buildings As Material Banks. **About BAMB,** 2020. Disponível em: <https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>. Acesso em 5 Jan de 2023.

CHENG, Jack CP; MA, Lauren YH. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste management**, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, 2013. ISSN: 0956-053X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13000068>. Acesso em 28 mar 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001.

COPELAND, Samuel; BILEC, Melissa. Buildings as material banks using RFID and building information modeling in a circular economy. **Procedia Cirp**, v. 90, p. 143-147, 2020. ISSN: 2212-8271. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120302572>. Acesso em: 20 mar. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.122.:

HAMLEDARI, Hesam; FISCHER, Martin. Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies. **Automation in Construction**, v. 132, p. 103926, 2021. ISSN: 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521003770>. Acesso em: 24 fev. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103926.

JALAEI, Farzad; JRADE, Ahmad. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 18, p. 95-107, 2015. ISSN 2210-6707. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670715000748> Acesso em: 24 de mar. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.007.

KOUHIZADEH, Mahtab; SARKIS, Joseph; ZHU, Qingyun. At the nexus of blockchain technology, the circular economy, and product deletion. **Applied Sciences**, v. 9, n. 8, p. 1712, 2019. ISSN: 2076-3417. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/8/1712>. Acesso em 24 fev. 2023. doi:https://doi.org/10.3390/app9081712

LI, Jennifer; GREENWOOD, David; KASSEM, Mohamad. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases. **Automation in construction**, v. 102, p. 288-307, 2019. ISSN 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518308537>. Acesso em 5 jan. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.005.

LIU, Zhen et al. Blockchain Enhanced Construction Waste Information Management: A Conceptual Framework. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 12145, 2022. ISSN: 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12145>. Acesso em 5 jan. 2023. doi:https://doi.org/10.3390/su141912145

SANTANA, Ingrid Tainã Macário et al. BIM como fomento para uma economia circular na construção civil: insights da literatura internacional. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, v. 3, p. 1-15, 2021. ISSN: 2764-0353. Disponível em <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/595>. Acesso em 10 abril 2023. doi:https://doi.org/10.46421/sbtic.v3i00.595

SETAKI, Foteini; VAN TIMMEREN, Arjan. Disruptive technologies for a circular building industry. **Building and Environment**, p. 109394, 2022. ISSN: 0360-1323. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132322006278>. Acesso em 5 jan. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109394.

SHOJAEI, Alireza. Exploring applications of blockchain technology in the construction industry. **Edited by Didem Ozevin, Hossein Ataei, Mehdi Modares, Asli Pelin Gurgun, Siamak Yazdani, and Amarjit Singh. Proceedings of International Structural Engineering and Construction**, v. 6, 2019. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85087227876&doi=10.14455%2fisec.res.2019.78&partnerID=40&md5=186d88e2eab7c477e519ea0b1799c62> Acesso em 5 jan. 2023. doi:https://doi.org/ 10.14455/isec.res.2019.78

TURK, Žiga; KLINC, Robert. Potentials of blockchain technology for construction management. **Procedia engineering**, v. 196, p. 638-645, 2017. ISSN 1877-7058. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581733179X>. Acesso em: 20 mar. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.052.

VAN GROESEN, Wouter; PAUWELS, Pieter. Tracking prefabricated assets and compliance using quick response (QR) codes, blockchain and smart contract technology. **Automation in Construction**, v. 141, p. 104420, 2022. ISSN 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658052200293X>. Acesso em 5 jan. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104420.

VOLK, Rebekka et al. Deconstruction project planning of existing buildings based on automated acquisition and reconstruction of building information. **Automation in construction**, v. 91, p. 226-245, 2018. ISSN: 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051730674X>. Acesso em: 24 de mar. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.017.

XUE, Fan; LU, Weisheng. A semantic differential transaction approach to minimizing information redundancy for BIM and blockchain integration. **Automation in construction**, v. 118, p. 103270, 2020. ISSN: 0926-5805. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520302041. Acesso em 5 jan. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103270.

YANG, Rebecca et al. Public and private blockchain in construction business process and information integration. **Automation in construction**, v. 118, p. 103276, 2020. ISSN: 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520301886>. Acesso em 5 jan. 2023. doi:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103276.