

Revisão sistemática sobre a integração de smart contracts e BIM no ambiente construtivo

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.14>

Vítor Esteves¹, Luís Sanhudo¹, António Aguiar Costa¹

¹ BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal

Resumo

A tecnologia *Blockchain* possibilita a gestão de informação de forma descentralizada e segura, permitindo uma inovação significativa do setor da Construção. A capacidade de aliar esta tecnologia a novos sistemas de gestão de informação (e.g. *Building Information Modelling*, BIM) e novos modelos de contrato (e.g. *smart contracts*), possibilita a automatização de processos, a diminuição de dificuldades administrativas e a melhoria da segurança e do fluxo de execução de um projeto. Ainda assim, apesar do teórico impacto positivo, existem até ao momento poucos casos práticos da sua aplicação e a investigação publicada neste âmbito carece de sistematização.

Desta forma, a presente revisão sistemática tem como objetivo identificar áreas de potencial integração destas tecnologias no setor da Construção e agregar a informação existente deste domínio, motivando a sua adoção generalizada. A pesquisa conduzida utilizou as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* para a recolha de artigos no âmbito do BIM e dos *smart contracts*. Desta recolha resultaram 20 artigos, cuja análise permitiu concluir que o atual foco desta interligação no setor da Construção relaciona-se sobretudo com aquisições, contratos ou custos. Concluiu-se ainda que esta tecnologia tem o potencial para resolver alguns dos problemas tradicionais do setor, sendo adaptável às metodologias e práticas atuais, resultando numa fácil integração nos seus processos diários.

1. Introdução

A indústria da Construção enfrenta vários desafios, incluindo baixa produtividade; fraca regulamentação; práticas de pagamento inadequadas; e falta de colaboração e partilha de informação entre intervenientes [1]. De facto, esta indústria é frequentemente rotulada como lenta no que toca à sua atualização, em grande parte devido à difícil implementação de processos inovadores, mostrando-se incapaz de integrar de forma expedita importantes avanços tecnológicos, quando comparada com outras indústrias [2]. Ainda assim, em anos recentes, algumas evidências de mudança têm sido observadas, por exemplo, através da ascensão da utilização da tecnologia BIM.

Paralelamente, outra tecnologia emergente que promete revolucionar múltiplos setores e cuja integração com o BIM aparenta ser vantajosa é a tecnologia *Blockchain*, cuja adoção no setor da Construção se encontra ainda numa fase embrionária. Assim, com o objetivo de analisar a adoção e potenciar o desenvolvimento desta tecnologia no ambiente construtivo, o presente artigo pretende examinar, em particular, a integração entre *smart contracts* e BIM.

A estrutura deste artigo é a seguinte: na Secção 2 é efetuada uma breve descrição dos conceitos chave deste estudo, como *blockchain*, tecnologia de livro-razão distribuída (*Distributed Ledger Technology*, DLT) e *smart contracts*; a Secção 3 apresenta a metodologia adotada neste artigo, detalhando o método de pesquisa e a seleção dos critérios de filtragem; a Secção 4 apresenta e discute os resultados da pesquisa; e, por fim, a Secção 5 conclui o artigo e identifica os próximos passos a seguir.

2. Conceitos Chave

A tecnologia DLT é um sistema para transações de valor numa rede distribuída de conexão ponto-a-ponto (*peer-to-peer*), na qual não existe uma autoridade central para intermediar essas transações.

Blockchain é um tipo de DLT onde existe um algoritmo de consenso entre pontos (nós) como, por exemplo, a prova de trabalho (*proof-of-work*) ou a prova de participação (*proof-of-stake*), e onde o histórico de transações é público. Esta começou como a tecnologia de suporte à primeira *Bitcoin* – criptomoeda de elevado sucesso, estabelecida em 2008, que funcionou como o impulsionador para a proliferação da DLT em diferentes indústrias e setores. De forma simplificada, uma *blockchain* é um livro-razão linear, constituído por blocos encadeados, cujo objetivo é o processamento de transações digitais, tendo provado ser uma tecnologia segura e resistente a ataques [3]. As principais características da *blockchain* são:

- descentralização, pois opera numa rede ponto-a-ponto composta por computadores na qual não existe uma autoridade central;
- imutabilidade, uma vez que os blocos que constituem a rede são encadeados e não podem ser alterados sem comprometer a validade da rede;

- **confiabilidade**, uma vez que todos os nós possuem uma cópia idêntica da *blockchain* que é verificada por meio de um algoritmo matemático que destaca eventuais anomalias;
- **autenticação**, pois, tal como referido anteriormente, mecanismos como a prova de trabalho são usados para validar transações. Este mecanismo de emissão de moeda serve para recompensar mineradores que garantem a validade das transações, sendo que o mineiro que completar a equação matemática primeiro obtém o direito de minerar o bloco para a *blockchain*, sendo recompensado pelo seu esforço com uma pequena porção da moeda.

Devido a estas características, nas *blockchains* públicas é impossível alterar um bloco devido à sua visibilidade em toda a rede e ao facto de requerer a alteração de todos os blocos que o precedem. Em suma, esta tecnologia garante segurança, utilizando criptografia e um mecanismo de consenso distribuído que oferece anonimato, persistência, auditabilidade, resiliência e tolerância a falhas [4]. A Figura 1 ilustra o funcionamento de uma *blockchain*.

Por sua vez, *smart contracts* são programas que estão armazenados numa *blockchain* e que são executados quando certas condições são satisfeitas, realizando, de forma automática, transações sem a necessidade de intermediários. *Ethereum* é a *blockchain* mais popular para este propósito. Para que seja considerado um *smart contract*, esta transação deve envolver duas ou mais partes, uma transferência de valor e uma implementação não sujeita a envolvimento humano direto [5]. A sua utilização é vantajosa pois elimina a necessidade de confiança entre ambas as partes sem a necessidade de um intermediário.

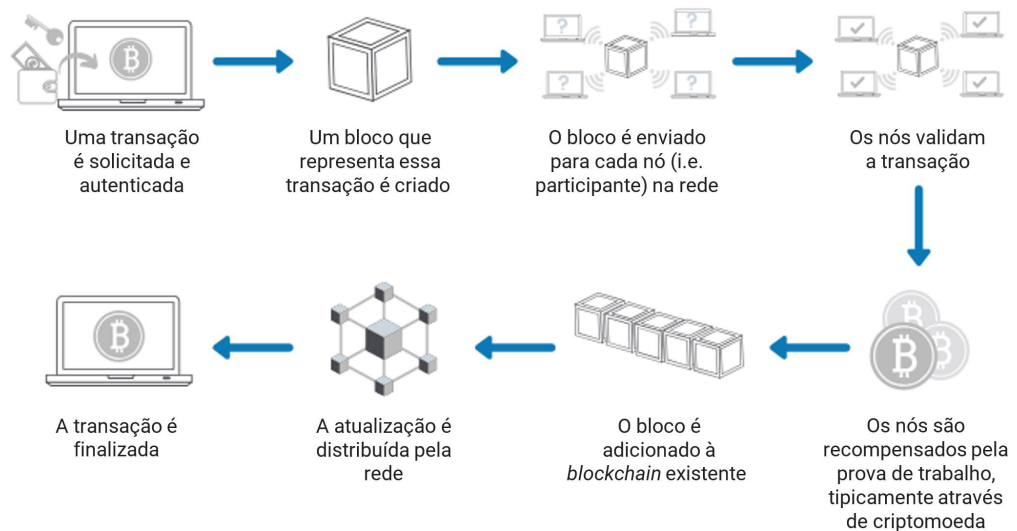


Figura 1
Funcionamento de uma *blockchain*. Adaptado de [6].

3. Metodologia de Estudo

As revisões sistemáticas têm como objetivo encontrar lacunas nas pesquisas atuais, a fim de direcionar as próximas etapas da investigação. Esta secção descreve o

processo utilizado para realizar a revisão sistemática da literatura, fornecendo uma breve descrição dos resultados obtidos, do processo de filtragem de informação e das dificuldades encontradas.

Começando pela obtenção de informação, a literatura relevante sobre o presente tópico foi recolhida através de pesquisas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. A *string* de pesquisa utilizada consistiu numa combinação de palavras-chave relacionadas com o setor da Construção:

*TITLE-ABS-KEY = (("blockchain" OR "DLT" OR "smart contracts") AND ("construction environment" OR "built environment" OR "building industry" OR "construction compan**" OR "in construction" OR "construction industry" OR "civil engineering" OR "construction sector" OR "building information modelling" OR "BIM"))*

Desta pesquisa resultou um total de 233 documentos que, após remoção de duplicados, tipologias de artigos não relevantes (e.g. revisões) e artigos fora de âmbito, foi reduzido a 18 artigos. Consequentes pesquisas para identificação de mais artigos relevantes foram realizadas manualmente, através da análise de citações dos artigos já identificados. Este esforço adicional resultou na identificação de mais dois artigos, perfazendo um total de 20 artigos relevantes para análise. Na Tabela 1, estão identificados e caracterizados os artigos resultantes desta pesquisa, agregados por autor, temática principal abrangida e principal *output*. É também incluída informação relativa ao número de citações de modo a perceber o impacto de cada artigo. Esta informação foi recolhida através do *Google Scholar*.

Tabela 1
Sumário de revisão de literatura.

Autor(es)	Citações	Temática principal	Output	Âmbito
N. Moretti et al., 2020 [7]	11	Digital Twin	Caso de Estudo	Utilização de <i>smart contracts</i> e BIM na implementação de um <i>digital twin</i>
Y. Celik et al., 2021 [8]	-		Caso de Estudo	
J. Hunhevizc et al., 2022 [9]	3	Gestão de Edifícios	Caso Prático	<i>Digital twin</i> com integração de <i>blockchain</i> para pagamentos automatizados
E. Seghezzi et al., 2020 [10]	-		Análise Metodológica	Análise do potencial de BIM e <i>smart contracts</i> para gestão de edifícios através de sensorização
A. Amaludin and M. Taharin, 2018 [11]	7		Caso de Estudo	Autenticação em tempo real
A. Shojaei et al., 2020 [12]	28	Gestão de Projeto	Caso de Estudo	Integração do modelo BIM no contrato inteligente para administração de projetos no mundo virtual
Y. Ni et al., 2021 [13]	-		Caso de Estudo	Plataforma de gestão de projeto baseada em BIM e <i>smart contracts</i>

J. Li et al., 2019 [14]	36		Simulação	Pagamentos automatizados mediante análise do progresso através de um modelo BIM
X. Ye et al., 2020 [15]	11	Pagamentos	Framework	Conexão de modelo BIM com mapas de quantidades e, por sua vez, com <i>blockchain</i> através do BCC (BIM Change Contract) para pagamento automatizado através de <i>smart contracts</i>
H. Hamledari and M. Fischer, 2022 [16]	12		Caso Prático	Pagamentos automatizados mediante análise robótica do progresso em tempo real
Z. Liu et al., 2019 [17]	40	Sustentabilidade	Framework	Gestão de informação baseada em BIM e <i>smart contracts</i> com o objetivo de validar a sustentabilidade dos materiais usados
A. Fitriawijaya et al., 2019 [18]	11		Caso de Estudo	
A. Erri Pradeep et al., 2021 [19]	7		Caso de Estudo	Framework CDE (Common Data Environment) de transferência e armazenamento de informação de arquivos relativos a projeto baseado em <i>smart contracts</i>
K. Sigalov et al., 2021 [20] [21]	3/17		Caso de Estudo	
V. Ciotta et al., 2021 [22]	3		Prova de Conceito	
X. Tao et al., 2021 [23]	4	Transferência de Informação	Caso de Estudo	
F. Elghaish et al., 2020 [24]	72		Caso de Estudo	Framework projetada para integrar os três processos de IPD (Integrated Project Delivery), <i>blockchain</i> e BIM, com o objetivo de visualizar o fluxo de informações
T. Dounas et al., 2020 [25] [26]	4/22		Prova de Conceito/ Framework	Infraestrutura descentralizada de BIM para partilha de informação assente em IPFS (InterPlanetary File System) e <i>smart contracts</i>

4. Análise de Resultados e Discussão

Analisando a Tabela 1 é possível perceber que, dos 20 artigos analisados, apenas dois se referem a casos de aplicação prática [16] [9], o que confirma a incerteza dos investigadores em relação à aplicação da tecnologia *blockchain* no setor. Em termos de temáticas abordadas, ambas as utilizações práticas focam a automatização de pagamentos. No que se refere aos estudos teóricos, é de ressaltar a dominância do tópico de transferência de informação, presente em sete dos 18 artigos teóricos. A Figura 2 permite visualizar a dispersão de temáticas ao longo dos últimos anos.

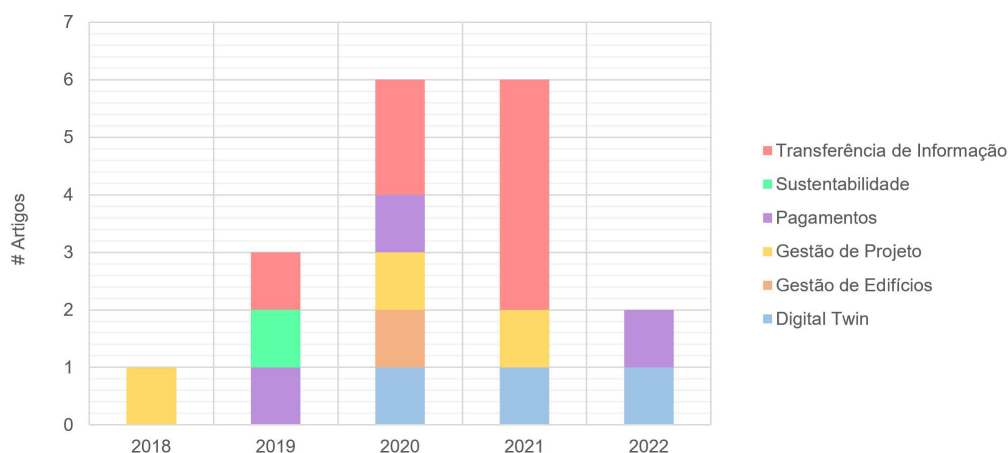


Figura 2
Dispersão de temáticas abordadas pelos artigos recolhidos.

É também possível identificar que, apesar da literatura com foco na integração de *smart contracts* e BIM ser ainda limitada, existem já vários casos de uso distintos, sendo possível salientar três grandes grupos: (1) pagamentos automatizados; (2) gestão de informação e pagamentos sob a forma de CDE; e (3) interligação com tecnologias *Internet-of-Things* (IoT) para gestão de edifícios.

Focando os pagamentos automatizados (1), o mecanismo de ação passa por utilizar dispositivos de captura de realidade, como por exemplo, *robots* equipados com câmaras ou *laser scanners*, que comunicam com o modelo BIM e o atualizam em tempo real. Por sua vez, um *smart contract* é programado e conectado com o modelo BIM, seguindo um conjunto de regras pré-estabelecidas antes do projeto iniciar. Nesse contrato deve constar informação relativa à tarefa, ao valor acordado e aos intervenientes. Quando a tarefa for terminada e o modelo BIM atualizado, os mecanismos de ação do contrato ativam-se automaticamente sem a necessidade de intermediários ou existência de um mecanismo de confiança. Questões de transparência e confiança são destacadas pelo Banco Mundial, na sua visão geral das principais vantagens de integrar esta tecnologia [27]. A questão da confiança no sistema torna-se, no entanto, um tópico debatível no setor pois, por um lado, a tecnologia pode remover ou reduzir os custos de transação tradicionalmente associados a projetos de construção (tanto ao nível da sua elaboração, negociação e execução), resultando assim em reduções de custos e em ganhos de eficiência. Por outro lado, se generalizada, esta tecnologia teria um impacto massivo no funcionamento base de várias empresas, muitas das quais dependem financeiramente do *status quo* e das mecânicas contratuais vigentes [28].

No que diz respeito à gestão de informação (2), este grupo de artigos visa promover tópicos que têm atrasado o desenvolvimento do setor construtivo, como colaboração e partilha de informações limitadas. Para isso, a informação relativa ao projeto é assegurada num CDE, definido na norma ISO 19650-1:2019 como um “ambiente confiável de partilha de informações para qualquer projeto ou ativo, onde é possível colecionar, administrar e disseminá-las por meio de um processo regulado”. Neste CDE podem ser armazenados diversos tipos de conteúdos, desde documentação técnica, como mapas de quantidade e análises de estimativas de custo, até modelos BIM.

O CDE é incorporado numa rede que utiliza a tecnologia de *smart contracts* para realizar partilhas de informação de forma segura e garantir que questões legais, como as responsabilidades, obrigações e direitos de propriedades intelectual associados a um modelo BIM compartilhado, possam ser tornadas explícitas e transparentes para todas as partes do projeto – aumentando na sua generalidade a confiança no sistema [29].

Relativamente à interligação com tecnologias IoT (3), este grupo de artigos tem como objetivo promover a interação entre o mundo real e o mundo digital. Para isso, após instalação de sensores num edifício e ligação dos mesmos ao modelo BIM e/ ou ao *Digital Twin*, uma rede de *smart contracts* pode ser associada a este sistema para, por exemplo, controlar a qualidade do ar ou recompensar o utilizador por tomar determinadas ações que promovam a sustentabilidade e longevidade dos ativos (e.g. baixos consumos de água e energia).

Por fim, foi ainda possível evidenciar a existência de múltiplos desafios à adoção em massa de *smart contracts* na Construção. Alguns dos desafios incluem [30]:

- o custo de implementação da tecnologia *blockchain*, nomeadamente no que se refere à ligação com o IoT, uma vez que cada sistema ou componente do edifício precisa de estar habilitado para este propósito;
- a falta de desenvolvedores da tecnologia que tenham o setor da Construção em mente, levando à inexistência de produtos e serviços personalizados para este setor;
- a já referida lenta adoção de novas tecnologias por parte da indústria, que cria uma diminuta procura e, conseqüentemente, também uma reduzida oferta;
- e o escasso conhecimento e compreensão dos benefícios desta tecnologia para o setor, que originam uma falta de investimento na investigação de novas tecnologias.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

O sector da Construção tem vindo a digitalizar os processos de trabalho de forma globalmente mais lenta do que outras indústrias. Apesar da tecnologia *blockchain* se encontrar ainda numa fase inicial de adoção, esta demonstra já vários benefícios que podem ter um impacto significativo no setor da Construção, nomeadamente ao nível da colaboração e partilha de informação digital. Assim, com o objetivo de impulsionar a sua adoção e identificar recentes trabalhos focados nesta tecnologia, o presente artigo examinou a integração entre *smart contracts* e BIM.

Ao longo da revisão, foi possível concluir que a adoção desta tecnologia no setor se encontra ainda numa fase embrionária, com poucas publicações teóricas (tipicamente focadas no desenvolvimento de modelos conceptuais) e ainda menos exemplos práticos. Contudo, os exemplos existentes apontam já para múltiplos casos de uso, como: suporte à gestão de material e finalização de tarefas através de pagamentos

automáticos; suporte à documentação e administração de contratos; desintermediação; aumento da transparência e confiança entre intervenientes, através de uma robusta gestão de dados e propriedade; entre outros. No entanto, foram também identificadas múltiplas barreiras que suportam a carência de investimento na tecnologia, como: os custos iniciais a ela associados (tanto ao nível da infraestrutura de suporte como ao nível da obtenção de conhecimento técnico); a ausência de procura por parte dos clientes; e a incerteza quanto ao retorno do investimento.

Os resultados encontrados sugerem que os próximos passos de pesquisa para a comunidade científica passam pela aplicação prática dos modelos conceptuais desenvolvidos, a fim de explorar em pormenor os benefícios e malefícios previstos desta associação. Deverão ser realizados investimentos em sistemas tecnológicos e testes de estudo em projetos piloto para que seja realmente possível perceber a adequabilidade da tecnologia e a sua capacidade em impactar o ecossistema construtivo.

6. Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014].

Referências

- [1] G. Robles, A. Stifi, J. L. Ponz-Tienda e S. Gentes, “Labor productivity in the construction industry-factors influencing the Spanish construction labor productivity”, *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, vol. 8, nº 10, pp. 1061-1070, 2014.
- [2] S. Changali, A. Mohammad e M. Nieuwland, “The construction productivity imperative”, Mckinsey, 2015.
- [3] S. Nakamoto, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, 2008.
- [4] N. Kannengießer, S. Lins, T. Dehling e A. Sunyaev, “Trade-offs between Distributed Ledger Technology Characteristics”, *ACM Computing Surveys*, vol. 53, nº 2, pp. 1-37, 2021.
- [5] B. Vitalik, “A next-generation smart contract and decentralized application platform”, 2013.
- [6] “Investopedia”, [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>. [Acedido em 14 December 2021].

- [7] N. Moretti, J. D. Blanco Cadena, A. Mannino, T. Poli e F. Re Cecconi, "Maintenance service optimization in smart buildings through ultrasonic sensors network", *Intelligent Buildings International*, vol. 13, nº 1, pp. 4-16, 2020.
- [8] Y. Celik, Y. Petri e Y. Rezgui, "Leveraging BIM and blockchain for digital twins", em *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 2021.
- [9] J. J. Hunhevicz, M. Motie e D. M. Hall, "Digital building twins and blockchain for performance-based (smart) contracts", *Automation in Construction*, vol. 133, 2022.
- [10] E. Seghezzi, G. Di Giuda, M. Schievano e F. Paleari, "Bim-enabled facility management optimization based on post-occupancy evaluations and building monitoring: Framework and first results", em *International Structural Engineering and Construction*, Limassol, 2020.
- [11] A. Amaludin e M. Taharin, "Prospect of Blockchain Technology for Construction Project Management in Malaysia", *ASM Science Journal*, vol. 11, pp. 199-205, 2018.
- [12] A. Shojaei, I. Flood, H. Moud, M. Hatami e X. Zhang, "An Implementation of Smart Contracts by Integrating BIM and Blockchain", em *Advances in Intelligent Systems and Computing*, San Francisco, 2020.
- [13] Y. Ni, B. Sun e Y. Wang, "Blockchain-based BIM Digital Project Management Mechanism Research", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 161342-161351, 2021.
- [14] J. Li, M. Kassem, A. Ciribini e M. Bolpagni, "A proposed approach integrating DLT, BIM, IOT and smart contracts: Demonstration using a simulated installation task", em *International Conference on Smart Infrastructure and Construction*, Cambridge, 2019.
- [15] X. Ye, K. Sigalov e M. König, "Integrating BIM- and Cost-included Information Container with Blockchain for Construction Automated Payment using Billing Model and Smart Contracts", em *Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Kitakyushu, Online, 2020.
- [16] H. Hamledari e M. Fischer, "Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies", *Automation in Construction*, vol. 132, 2021.
- [17] Z. Liu, L. Jiang, M. Osmani e P. Demian, "Building information management (BIM) and blockchain (BC) for sustainable building design information management framework", *Electronics (Switzerland)*, vol. 8, nº 7, 2019.
- [18] A. Fitriawijaya, T. Hsin-Hsuan e J. Taysheng, "A blockchain approach to supply chain management in a BIM-enabled environment", em *International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, Wellington, 2019.

- [19] A. Erri Pradeep, T. Yiu, Y. Zou e R. Amor, "Blockchain-aided information exchange records for design liability control and improved security", *Automation in Construction*, vol. 126, 2021.
- [20] K. Sigalov, X. Ye, M. König, Hagedorn, B. F. P., B. Severin, M. Hettmer, P. Hückinghaus, J. Wölkerling e D. Groß, "Automated payment and contract management in the construction industry by integrating building information modeling and blockchain-based smart contracts", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, 2021.
- [21] X. Ye e M. König, "Framework for Automated Billing in the Construction Industry Using BIM and Smart Contracts", em *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 98, 2021, pp. 824-838.
- [22] V. Ciotta, G. Mariniello, D. Asprone, A. Botta e G. Manfredi, "Integration of blockchains and smart contracts into construction information flows: Proof-of-concept", *Automation in Construction*, vol. 132, 2021.
- [23] X. Tao, M. Das, Y. Liu e J. Cheng, "Distributed common data environment using blockchain and Interplanetary File System for secure BIM-based collaborative design", *Automation in Construction*, vol. 130, 2021.
- [24] F. Elghaish, S. Abrishami e M. Hosseini, "Integrated project delivery with blockchain: An automated financial system," *Automation in Construction*, vol. 114, 2020.
- [25] T. Dounas, W. Jabi e D. Lombardi, "Smart Contracts for Decentralised Building Information Modelling", em *Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*, Berlin, 2020.
- [26] T. Dounas, D. Lombardi e W. Jabi, "Framework for decentralised architectural design, BIM and Blockchain integration", *International Journal of Architectural Computing*, vol. 19, nº 2, pp. 157-173, 2020.
- [27] H. Natarajan, S. Krause e H. Gradstein, "Distributed Ledger Technology and Blockchain. FinTech Note", World Bank, Washington, DC, 2017.
- [28] P. Davis, J. Ellis e S. Cheung, "Dispute causation: Identification of pathogenic influences in construction", *Engineering Construction & Architectural Management*, vol. 17, nº 4, pp. 404-423, 2010.
- [29] C. Kinnaird, M. Geipel e M. Bew, "How the Inventions Behind Bitcoin are Enabling a Network of Trust for the Built Environment", Arup, London, 2017.
- [30] J. Li, D. Greenwood e M. Kassem, "Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases," *Automation in Construction*, pp. 288-307, 2019.